

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 621.314

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко
(підпис) (ініціали,

прізвище)

“ _____ ” _____ 2019р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**
зі спеціальності _____ 171 Електроніка
(код і назва)

спеціалізація _____ Електронні компоненти і системи

на тему: «Удосконалена система керування для контактного зварювання»

Виконав: студент _____ II курсу, групи _____ ДС-71мп
(шифр групи)

_____ Петрикеєв Євген Ігорович
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник _____ доц. каф. ПЕ, к.т.н., доц. Бондаренко О.Ф.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент проф., доц. каф. ЕП та ПП Шмирьова Л.М. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”**

Факультет електроніки

(повна назва)

Кафедра промислової електроніки

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою

Спеціальність 171 Електроніка

(шифр і назва)

Спеціалізація Електронні компоненти і системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко

(підпис) (прізвище ініціали)

«03» вересня 2018 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

_____ Петрикеев Євген Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту «Удосконалена система керування для контактного зварювання»

науковий керівник дисертації Бондаренко Олександр Федорович, к.т.н. доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «10» травня 2019 року № 1241-с

2. Строк подання студентом проекту 18-го травня 2019 року

3. Об'єкт дослідження процеси керування та регулювання в устаткуванні для контактного зварювання.

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) Система керування контактного зварювання.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Провести аналіз факторів впливу на процес контактного зварювання 2. Дослідити існуючі системи регулювання та закони за якими проходить процес зварювання 3. Розробити модель регулювання та врахування параметрів джерела живлення і електродів 4. Створити систему керування за дослідженими факторами впливу.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Алгоритм роботи системи керування, структурна та принципова схема системи керування.

7. Орієнтовний перелік публікацій

1) . Публікація тез у XIV Міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах» КУСС-2018

2). Публікація статті у Мультидисциплінарний Міжнародний науковий журнал "Інтернаука".

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання «03» вересня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строки виконання етапів проекту	Примітка
1	Огляд літератури	1.09.2018-24.09.2018	виконано
2	Аналіз факторів впливу на процес контактного зварювання	25.09.2018-12.10.2018	виконано
3	Дослідження існуючих систем регулювання та керування циклом зварювання	13.10.2018-27.10.2018	виконано
4	Створення системи керування із зворотними зв'язками.	28.10.2018-20.11.2018	виконано
5.	Порівняння методів регулювання зварного шву.	21.11.2018-26.11.2018	виконано
6.	Розробка стартап-проекту	26.11.2018 – 03.12.2018	виконано

Студент

Керівник проекту

(підпис)

(підпис)

Петрикеев Є.І.

(ініціали, прізвище)

Бондаренко О.Ф.

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою представленої магістерської дисертації є пошук шляхів удосконалення систем керування для контактного зварювання.

Основним завданням роботи є виявлення факторів впливу на процес контактного зварювання та вирішення питання побудови системи керування для джерела живлення контактного зварювання. Аналіз та побудова системи автоматичного керування для контактного зварювання. Пошук способів отримання даних зі зворотного зв'язку та регулювання цих даних. Створення реального прототипу системи керування на базі мікроконтролера та реалізація програмного забезпечення для роботи системи джерела живлення контактного зварювання. В роботі досліджено вплив приладів регулювання на джерело контактного живлення, обрано необхідні зворотні зв'язки для отримання даних до мікроконтролеру та створено програмне забезпечення роботи системи керування. Дана робота може бути застосована у промисловості для контактного зварювання різних металів.

Ключові слова: система керування, контактне зварювання, джерело живлення, мікроконтролер, зворотній зв'язок.

АННОТАЦИЯ

Целью представленной магистерской диссертации является поиск путей совершенствования систем управления для контактной сварки.

Основной задачей работы является выявление факторов влияния на процесс контактной сварки и решение вопроса построения системы управления для источника питания контактной сварки. Анализ и построение системы автоматического управления для контактной сварки. Поиск способов получения данных с обратной связи и регулирования этих данных. Создание реального прототипа системы управления на базе микроконтроллера и реализация программного обеспечения для работы системы источника питания контактной

сварки. В работе исследовано влияние приборов регулирования на источник контактной питания, избран необходимые обратные связи для получения данных в микроконтроллера и создано программное обеспечение работы системы управления. Данная работа может быть использована в промышленности для контактной сварки различных металлов.

Ключевые слова: система управления, контактная сварка, источник питания, микроконтроллер, обратная связь.

ANNOTATION

The purpose of the submitted master's thesis is to find ways to improve control systems for contact welding.

The main task of the work is to identify the factors of influence on the process of contact welding and to solve the issue of construction of a control system for the power supply of contact welding. Analysis and construction of the automatic control system for contact welding. Finding ways to obtain feedback data and adjust this data. Creation of a real prototype of the control system based on the microcontroller and implementation of software for the operation of the power supply system for contact welding.

The influence of control devices on the power supply source has been investigated, the necessary feedback has been selected for obtaining data to the microcontroller, and the software of the control system has been created.

This work can be applied in the industry for contact welding of various metals.

Keywords: control system, power supply, contact welding, microcontroller, feedback.

ЗМІСТ

1. ПОБУДОВА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ	8
1.1. Особливості побудови джерел живлення у промисловості.....	8
1.2. Фактори впливу на процес контактного зварювання.....	13
1.2.1. Питання стабільності контактного зварювання.....	15
1.2.2. Питання зварювання однорідних і різнорідних металів.....	16
1.3. Класифікація джерел живлення.....	17
1.4. Топології контактного зварювання	20
1.5. Принцип побудови систем контактного зварювання.....	24
1.6. Проблеми побудови системи керування.....	28
1.7. Висновки до розділу	34
2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ	35
2.1. Види систем керування для контактного зварювання	35
2.2. Системи керування зі зворотнім зв'язком.....	37
2.3. Програмовані системи керування для контактного зварювання	41
2.4. Оцінка якості зварних швів контактного зварювання з допомогою нейронних мереж.....	43
3. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ	47
3.1. Зворотні зв'язки системи керування.....	47
3.1.1. Зворотній зв'язок за напругою	48
3.1.2. Зворотній зв'язок за струмом	49
3.2. Регулятори параметрів системи керування.....	49
3.2.1. Регулятори напруги	50
3.2.2. Регулятори струму	52
3.2.3. Регулятори потужності.....	55
3.3. Алгоритм роботи системи керування	55

3.3.1 Алгоритм для формування керуючого сигналу.....	56
3.3.2 Алгоритм обробки даних зворотного зв'язку	59
3.3.3. Алгоритм отримання даних від оператора.....	62
3.4 Математичні моделі прогнозування якості зварних швів	63
4. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ	67
4.1 Розробка загальної структурної схеми системи керування для контактного зварювання.....	67
4.2. Розробка схеми електричної структурної системи керування.....	69
4.3 Розробка загальної схеми електричної принципової джерела живлення 74	
4.4 . Макет практичної роботи	76
5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ	78
5.1 Етапи розроблення стартап-проекту	78
5.2. Опис ідеї проекту	80
5.2.1. Технологічний аудит ідеї проекту.....	81
5.2.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	82
5.2.3. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	86
ВИСНОВКИ.....	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
Додаток А.....	93
Додаток Б	102
ABSTRACT	118

ВСТУП

Актуальність роботи. Джерела живлення використовуються у різних сферах промисловості, проте прилади мають обмежені можливості у регулюванні вихідних параметрів, зокрема у налаштуванні форми імпульсу вихідного сигналу. Джерела живлення для виробництва, мають високу вартість і виготовляються під замовлення. У випадку зміни умов виробництва, необхідно налаштовувати параметри роботи джерела живлення.

Існують галузі, де налаштування джерел живлення під різні параметри роботи є необхідністю. Така галузь, як контактне зварювання потребує постійної зміни вихідного сигналу і чим більше параметрів можливо налаштувати, тим якісніше будуть зварні шви. Система керування має забезпечити стабільну форму імпульсу вихідного сигналу, незважаючи на фактори, що впливають на процес зварювання. Система керування на базі мікроконтролера суттєво розширює параметри налаштування імпульсу, а також зменшує вартість джерела живлення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертації є створення системи керування для джерела контактного живлення із можливістю налаштування вихідних параметрів, зокрема, налаштування параметрів вихідного імпульсу та його підтримка за рахунок регуляторів та зворотних зв'язків.

Основними завданнями є:

- 1) Пошук та аналіз існуючих рішень для побудови автоматичних систем керування.
- 2) Створення алгоритму, програмного забезпечення та електричної схеми для побудови власної системи керування джерела живлення для контактного зварювання.

Об’єкт дослідження. Процеси керування та регулювання в устаткуванні для контактного зварювання.

Предмет дослідження. Система керування джерела живлення для контактного зварювання.

Методи дослідження. При розв’язанні поставлених у роботі задач для реалізації системи керування для контактного зварювання було проведено аналіз факторів, що впливають на процес зварювання та пошук способів автоматизації процесу контактного зварювання. Реалізація роботи проведена на базі мікроконтролера STM32F429ZIT6 у програмному середовищі uVision, Arduino IDE.

Наукова новизна досліджень полягає у наступному:

1) Розроблено алгоритм роботи системи керування із можливістю налаштування вихідного сигналу та його регулювання під час процесу контактного зварювання.

2) Удосконалено електричну схему системи керування із можливістю регулювання вихідних параметрів та отримання даних зі зворотних зв’язків.

Практичне значення отриманих результатів:

1) Забезпечена можливість налаштування параметрів за допомогою користувацького інтерфейсу.

2) Система керування реалізована на реальному мікроконтролері із можливим подальшим використанням у приладах системи керування джерел живлення для контактного зварювання.

Апробація результатів роботи. Результати роботи були представлені на конференції першої міжнародної науково-технічної конференції «SMART-ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕЛЕКТРОНІЦІ -2018».

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 29 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 97 сторінок у тому числі 86 сторінок основного тексту, 28 рисунків та 14 таблиць.

1. ПОБУДОВА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

1.1. Особливості побудови джерел живлення у промисловості

Джерела живлення загального застосування являють собою групу приладів, призначених для живлення радіотехнічних пристроїв стабілізованою напругою і струмом. Вони забезпечують високу точність підтримки вихідної напруги або струму при зміні напруги мережі і опору навантаження.

Область застосування джерел живлення постійної дуже широка і різноманітна:

- виробництво і ремонт радіоелектронної апаратури (РЕА);
- тестування електронних схем, живлення РЕА та різних пристроїв;
- створення технологічних стендів і автоматизованих систем при проектуванні, виробництві, випробуваннях радіоелектронної апаратури та електротехнічних виробів;
- моделювання різних фізичних процесів.

Використання в якості самостійних приладів для отримання необхідних величин струмів і напруг. В цьому випадку їх називають лабораторними. До різних областей використання джерел живлення ставляться різні вимоги, що стосуються параметрів потужності, а також стабільності вихідних параметрів. Такі джерела живлення можуть видавати імпульсний сигнал, постійний або налаштований вручну. Форма сигналу має важливу роль при використанні джерела живлення у певній сфері. Якщо величину вихідних параметрів налаштовується в більшості джерел живлення, то формування імпульсу заданої форми і підтримка його стабільності не є доступною можливістю.

Більшість компаній виробляють потужні джерела живлення тільки під індивідуальне замовлення, так як замовлення йде на велику кількість таких джерел живлення, що матимуть велику вартість. Існують великі компанії, що

займаються конструюванням та виробленням джерел живлення тільки певного напрямлення, тому такі джерела живлення неможливо буде використовувати у іншій сфері без додаткового налаштування на апаратному рівні. Найбільшими замовниками є різні виробництва та промислові комплекси, де джерела живлення встановлюються один раз и працюють постійно в одному режимі, тому великі виробники джерел живлення не створюють гнучких приладів.

Проте компанії, що не потребують великої кількості таких приладів не мають змоги зробити індивідуальне замовлення, оскільки його вартість буде значно більшою. Серед галузей, де необхідні джерела живлення із гнучким налаштуванням параметрів є галузь зварювання та мікрозварювання, де під різні матеріали необхідно налаштовувати вихідні параметри та імпульс.

Сучасні джерела живлення обмежені в функціональних можливостях, тому існує потреба в створенні гнучкої системи керування, яку можливо налаштувати під різні потреби. Зокрема, більшість джерел живлення не мають можливості коригування вхідного сигналу, тому метою створення власного джерела живлення є створення системи із зворотнім зв'язком за напругою, струмом та потужністю, що збільшить стабільність вихідного сигналу при різних умовах використання приладу. Існують декілька сфер використання джерел живлення, що мають схожі вимоги до приладу:

- ювелірна промисловість;
- зварювальна промисловість;
- лабораторні джерела живлення.

Проте єдиного джерела живлення з можливістю його налаштування під необхідні потреби не існує.

Контактне зварювання - один з провідних способів нероз'ємного з'єднання деталей в різних галузях техніки, це один із видів зварювання тиском, під час якого з'єднання утворюється у результаті нагрівання країв заготовок Джоулевым теплом (теплом опору) при проходженні зварювального електричного струму через деталі та наступної або одночасної пластичної деформації під зусиллям тиснення. Цей метод зварювання відрізняється дуже високим ступенем

механізації, роботизації, автоматизації і, як наслідок, високою продуктивністю. Завдяки вдосконаленню технологічного процесу і модернізації устаткування області, використання контактного зварювання безперервно розширюються. В даний час контактне зварювання є провідним процесом отримання нероз'ємних з'єднань металів. Точкова зварка найбільш автоматизований процес, широко вживаний в масовому виробництві сучасних легкових автомобілів, конструкцій літаків [1].

Контактне зварювання об'єднує велику групу способів зварювання, загальними ознаками яких є нагрівання заготовок, які знаходяться в контакті з електрострумом та прикладення зовнішнього тиску, який забезпечує їх взаємне притискання. Отже, вводиться два види енергії:

- теплова;
- механічна.

Тиск при контактному зварюванні забезпечує формування стійкого контакту з певними характеристиками або деформування зони зварювального з'єднання з метою покращення структури зони шва та зменшення напружень і деформацій. Доля енергії, яка витрачається на створення тиску в зоні зварювання становить лише декілька відсотків від її загальної кількості, яка вводиться в з'єднання.

Принципові можливості ведення процесу при контактному зварюванні такі:

- з нагрівом металу до високопластичного стану без плавлення;
- з плавленням металу в зоні зварювання й утворенням литої структури (литого ядра).

В промисловості використовують обидва способи, але зварювання з плавленням енергетично вигідніше, тому, що опір перехідного контакту більший і це визначає меншу потребу зварювального струму. Крім того існує більша гарантія утворення якісного з'єднання, тому що лите ядро зручніше

контролювати. Використовують контактне зварювання лише для зварювання металів.

Основним джерелом енергії є теплота, яка виділяється в зоні контакту при проходженні електроструму, за рахунок того, що опір в цій зоні вищий ніж опір основного металу.

Загальна кількість теплоти Q , яка виділяється в електричному контакті, відповідно до закону Джоуля-Ленца визначається за формулою:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t, \quad (1.1)$$

де I — струм, який проходить через контакт, А; R — контактний опір, Ом; t — тривалість контакту, с.

Електричний опір метала малий і становить, приблизно, десятки мікроом, тривалість контакту — долі секунди (для запобігання газонасичення металу). Тому, для виділення достатньої кількості енергії при контактному зварюванні потрібно використовувати значний струм та специфічне обладнання [2].

До контактного зварювання відноситься:

- стикове;
- точкове;
- рельєфне;
- шовне.

Стикове зварювання — відноситься до контактного виду зварювання. Поділяють зварювання оплавленням і зварювання опором.

При зварюванні опором торцеві поверхні деталей обробляють, деталі підводять одна до другої встик і вмикають струм (рис 1.1). У стику відбувається пластична деформація, з'єднання утворюється без розплавлення металу.

Цим способом не завжди вдається забезпечити рівномірне нагрівання деталей великого перетину по всій площі і досить часто видалити зі стику деталей окисні плівки. Тому стикове зварювання опором застосовують тільки для з'єднання деталей малого перетину (до 200...300 мм²): дротів, труб, прутів з низьковуглецевих сталей [3].

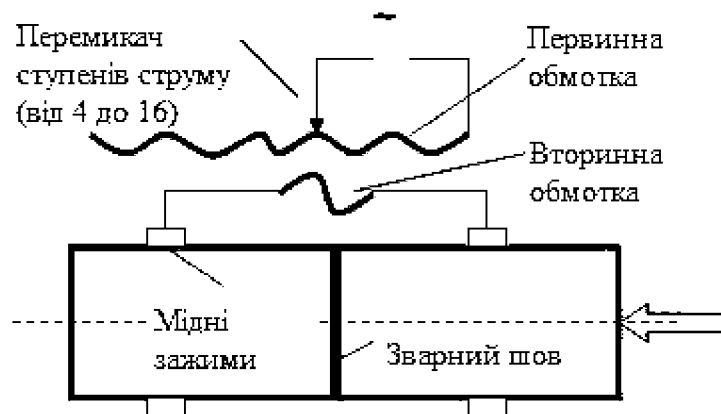


Рис 1.1 Схема електроконтактного стикового зварювання

Точкове зварювання використовується в основному для зварювання листових конструкцій, з'єднання перетинаючих стрижнів (арматура залізобетонних конструкцій) (рис. 1.2.). Сумарна товщина листів зазвичай не перевищує 10-12 мм (можлива до 20 мм для листового зварювання), а інших елементів до 30 мм.

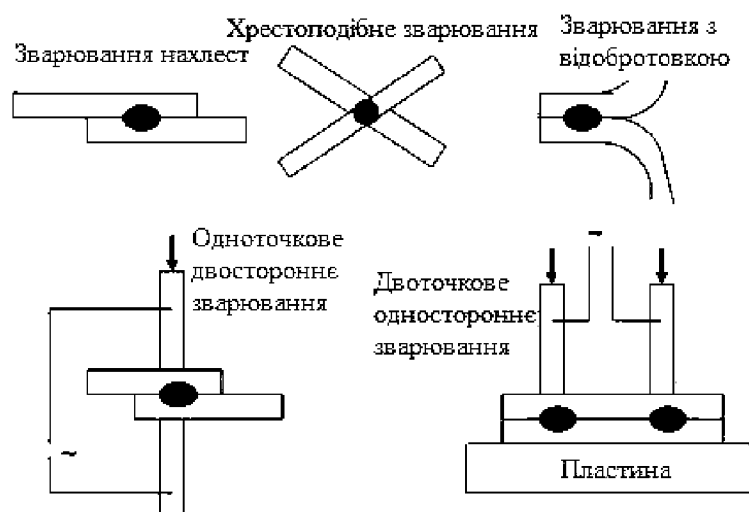


Рис. 1.2 Способи отримання точкових зварних швів

Різновид точкового зварювання – рельєфне (рис. 1.3). Спочатку створюються холодною пластичною деформацією виступи на зварюваних поверхнях, а потім деталі стискаються і через них пропускається електричний струм, тобто виконується електроконтактне зварювання.

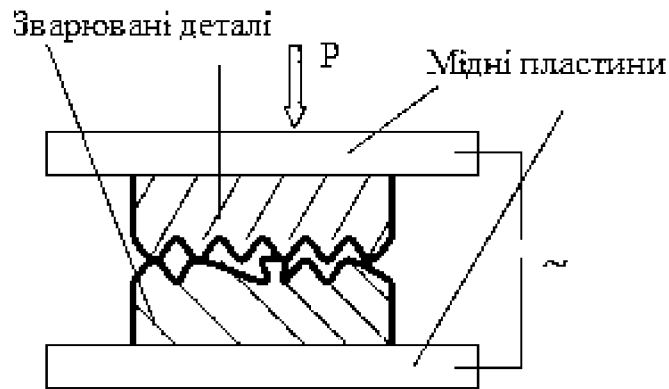


Рис.1.3 Рельєфне зварювання

Шовне зварювання (рис.1.4) застосовується для отримання міцних і герметичних швів (тонкостінний посуд, тонкостінні зварні труби). Листи товщиною 0,3-3 мм збирають навхрест, стискають двома мідними роликами, пропускають через них електричний струм, ролики обертаються, листи або ролики переміщуються, відбувається контактне зварювання [4].

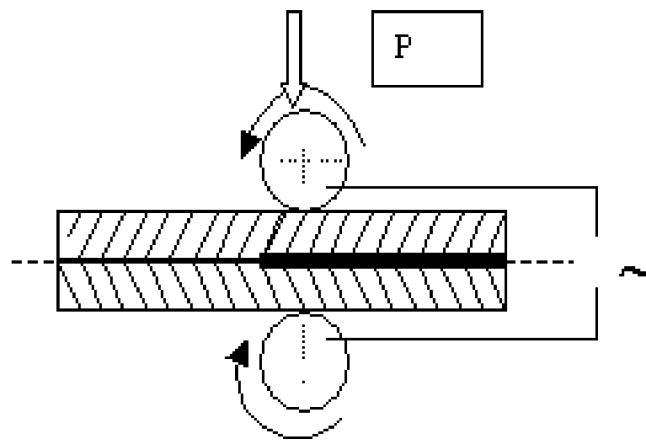


Рис.1.4 Шовне зварювання

1.2 Фактори впливу на процес контактного зварювання

Найважливішою і необхідною умовою формування з'єднань є утворення спільної зони металевого зв'язку. Зварне з'єднання утворюється в результаті протікання цілого ряду фізичних процесів в кілька етапів. Ці етапи відрізняються

фазовим станом металу, ступенем його деформації, розташуванням поверхневих плівок та інше.

При точковому, шовному та рельєфному зварюванні процес утворення з'єднання відбувається в три етапи:

Перший етап починається з моменту включення зварювального струму і обтиску деталей і супроводжується утворенням електричного контакту, нагріванням і розширенням твердого металу. При рельєфному зварюванні на даному етапі починається осада рельєфу.

Нагрітий метал деформується і витісняється в проміжок. При цьому утворюється ущільнюючий пасок.

Другий етап характеризується розплавленням металу і утворенням розплавленого ядра до номінальних для даної товщини розмірів по діаметру і глибині проплавлення. Крім цього спостерігається перемішування металу, видалення поверхневих плівок і утворення металевих зв'язків в рідкій фазі. Триває процес пластичної деформації і теплове розширення металу. До кінця другого етапу відзначається майже повне осідання рельєфу. На цьому етапі фактично закінчується формування з'єднання.

Третій етап починається з виключення струму, що призводить до охолодження і кристалізації розплавленого металу. В процесі кристалізації на третьому етапі металеві зв'язки укріпляються і утворюється з'єднання з необхідними властивостями. Металевий зв'язок між деталями виникає і в області ущільнюючого паска. Активація атомів при цьому способі з'єднання здійснюється в основному за рахунок теплової енергії.

Основними процесами, контролюючими формування з'єднань при точковому, шовному та рельєфному зварюванні, є нагрів металу, його пластична деформація і видалення поверхневих плівок.

1.2.1. Питання стабільності контактного зварювання

Вважається загальновизнаним, що на стабільність контактного зварювання різних металів і сплавів впливає ступінь сталості контактних опорів між зварюються деталями, а також їх перехідних контактних опорів електрод-деталі. Тому постійність їх значень при виконанні контактного зварювання найчастіше є одним з важливих умов її стабільності. Для виконання цих умов повинна забезпечуватися надійна робота механізмів стиснення зварювальних машин.

Правильний підбір форми робочих частин і матеріалу електродів відповідно до марки зварюваного матеріалу в значній мірі визначає знос робочих частин електродів і в наслідок цього надає помітний вплив як на формування зварного з'єднання, так і на стабільність процесу.

Значний вплив на стабільність контактного зварювання надає стан зварювальних контурів. Тому підвищення надійності зварювальних контурів, розробка і застосування приладів автоматичного контролю опорів зварювальних контурів і своєчасний, ретельний догляд за їх станом важливі для підвищення стабільності зварювання.

При контактному зварюванні опором отримання стабільних зварних з'єднань повинно забезпечуватися завдяки жорсткому виконанню при кожній зварювальній операції наступних основних умов:

- нагрів деталей в зоні зварювання струмом протягом часу до заданого за технологією температурного стану;
- забезпечення після відключення зварювального струму суворо однакових умов охолодження нагрітого об'єму металу.

Гарантувати виконання другої умови значно легше, оскільки для цього досить визначити і витримувати оптимальний час охолодження деталей, що зварюються, стислих між електродами зварювальної машини. Набагато важче виконати першу умову стабільності контактного зварювання опором, так, як це пов'язано з необхідністю дотримання цілого ряду параметрів режиму зварювання і умов її виконання на контактній зварювальній машині.

1.2.2. Питання зварювання однорідних і різнорідних металів

Висока інтенсивність нагріву зони зварювання, наявність стиснення металу, дуже малий час зварювання і високі швидкості охолодження обумовлюють деякі особливості процесу утворення точкових і рельєфних з'єднань і перетворенні в них.

Зварюваність матеріалів є технологічною характеристикою твердого тіла. Основні проблеми зварюваності металів пов'язані з особливостями процесів, що відбуваються в трьох основних зонах зварного з'єднання: шві, де метал повністю розплавляється і потім твердне; перехідній зоні напіврозплавленого металу, зоні термічного впливу, де основний метал змінюється завдяки нагріванню і охолодженню в твердому стані. Процеси, що відбуваються і цих зонах, залежать від режиму зварювання і визначають якість зварних з'єднань і, взагалі, можливість його отримання. Особливі труднощі виникають при зварюванні різнорідних матеріалів

Це викликано їх металургійної несумісністю, тобто різністю в структурах, а також відмінністю у коефіцієнтах лінійного розширення, тепло- і електропровідності, в окисленні розплавленого металу. Вирішальний вплив на зварюваність різнорідних металів і сплавів надає металургійна сумісність, яка визначається взаємною розчинністю з'єднуваних металів як в рідкому, так і в твердому стані, а також утворенням хімічних сполук - інтерметалідів. Практично не зварюються плавленням метали і сплави, які не можуть взаємно розчинятися в рідкому стані. При розплавленні таких пар металів утворюються незмішувані шари, які при подальшому твердінні можуть бути порівняно легко відділені один від одного. Легко утворюють зварні з'єднання метали і сплави, до складу яких входять елементи, що володіють необмеженою взаємною розчинністю, не тільки в рідкому, але і в твердому стані, тобто утворюють безперервний ряд твердих розчинів.

Основні умови, необхідні для отримання зварного з'єднання різнорідних матеріалів, такі метали повинні мати однотипні кристалічні решітки, атомні радіуси металів, що утворюють твердий розчин не повинні відрізнятися більш

ніж на 10 -15%. Електрохімічні властивості не повинні сильно відрізнятися, тому що в протилежному випадку можливе утворення крихких інтерметалічних з'єднань в зоні зварювання [5].

1.3 Класифікація джерел живлення

Існують різні типи джерел живлення. Більшість з них розроблені для перетворення змінного струму високої напруги (АС) в низьку напругу постійного струму (DC) для живлення різних схем електроніки та інших пристроїв. Класифікувати усі джерела живлення можна за формою імпульсу, що генерується:

- лінійні джерела живлення,
- імпульсні джерела живлення.

Основним, а деколи й єдиним видом зварювального устаткування є джерело живлення, яке в залежності від виду електричної енергії і способу її перетворювання може бути віднесене до одного з таких типів:

- трансформатор – джерело змінного струму, яке перетворює напругу мережі у знижену змінну напругу, що необхідна для зварювання;
- генератор – джерело постійного струму, що перетворює механічну енергію обертання якоря в енергію постійного струму, яку використовують для зварювання;
- перетворювач – джерело постійного струму, що складається з генератора в комбінації з електродвигуном змінного струму і яке перетворює енергію напруги мережі живлення в енергію постійного струму, необхідну для зварювання;
- агрегат – джерело постійного струму, що складається з генератора і двигуна внутрішнього згоряння, який перетворює енергію спалювання хімічного палива в енергію постійного струму, яку застосовують для зварювання;

- випрямляч – джерело постійного струму, що перетворює енергію напруги мережі у випрямлений постійний струм для зварювання [6].

У лінійних імпульсних перетворювачів джерела живлення змінна напруга мережі перетворюється трансформатором, випрямляється, піддається низькочастотній фільтрації та стабілізується. В нестабілізованих джерелах живлення навантаження підключається безпосередньо до виходу фільтру низької частоти. В стабілізаторах лінійних джерел живлення відбувається безперервне регулювання: послідовно або паралельно з навантаженням вмикається регулюючий елемент (транзистор), керований сигналом зворотного зв'язку, за рахунок чого вихідна напруга підтримується на постійному рівні (рис 1.5).

Відмінна властивість лінійних стабілізаторів напруги полягає в тому, що їх вихідна напруга завжди нижче нестабілізованої вхідної напруги. Окрім того, вихідна напруга завжди має однакову полярність із вхідною напругою, а стабілізатор безперервно розсіює потужність.

$$P_{роз} \approx I_{вих}(U_{вх} - U_{вих}), \quad (1.2)$$

де $P_{роз}$ - потужність розсіювання; $I_{вих}$ - вихідний струм, струм навантаження; $U_{вх}$ - вхідна напруга; $U_{вих}$ - вихідна напруга;



Рис 1.5 Спрощена функціональна схема лінійного стабілізованого джерела живлення

Імпульсні джерела живлення безпосередньо випрямляють та фільтрують напругу мережі змінного струму без використання первинного силового трансформатора, який для частоти 50 Гц має значну вагу та габарити (рис 1.6). Випрямлений та фільтрований постійний струм комутується потужним

електронним ключем, після перетворюється високочастотним трансформатором, знову випрямляється та фільтрується.



Рис.1.6 Спрощена функціональна схема імпульсного джерела живлення

Електронний ключ керується спеціальним сигналом, що формується схемою керування. В приладі може бути зворотній зв'язок за напругою, за допомогою якого стабілізується вихідна напруга. Керуючий сигнал формується в залежності від різниці напруги вхідної та опорної. Через високу частоту перемикання, трансформатори та конденсатори фільтрів мають набагато менші розміри, ніж низькочастотні еквіваленти. Перевагою імпульсних джерел живлення являється високий ККД (до 80%), де у лінійних джерелах живлення ККД досягає до 50 % [7].

Оскільки, галузей застосування таких приладів достатньо велика кількість, необхідно забезпечити якість та стабільність вихідного сигналу. Досягається це за допомогою регулювання форми та частоти імпульсу вихідного сигналу. Наразі, найбільш використовуваними формами імпульсу є:

- трикутна;
- трапецієдальна;
- прямокутна;
- експотенційна.

Система керування, отримує дані зворотного зв'язку і на базі отриманих даних коригує роботу джерела живлення. Форма імпульсу залежить від потреб споживача. Це стосується і якості вихідних параметрів, як $U_{вих}$, $I_{вих}$, $P_{роз}$, втрати енергії та інші.

Наразі, світові виробники джерел живлення з високими показниками якості виробляють тільки вузько направлені джерела живлення, які

виробляються виключно під замовника. Виробник Miyachi welder займається виробництвом приладів для контактного зварювання з 1950 року. Проте, джерела живлення, що представляє компанія відрізняються тільки параметрами потужності і можливістю моніторингу вихідних даних. Японський виробник джерел живлення для контактного зварювання пропонує різні типології живлення, як: суперконденсаторне, інверторне або трансформаторне, проте можливості переналаштування такого джерела живлення під потреби лабораторних досліджень, або використання його в інших галузях, як ювелірна промисловість вже не є можливим, оскільки форма імпульсу буде однаковою.

Такі джерела живлення, можливо перелаштувати на інші режими роботи, проте необхідно робити апаратні зміни, та замінювати деякі елементи схеми. Це не практично, тому пропонується ідея створення джерела живлення зі зворотнім зв'язком із можливістю налаштування вихідного імпульсу, що розширює функціонал даного джерела живлення і дає можливість використання його у різних галузях.

1.4 Топології контактного зварювання

Сучасні прилади контактного зварювання можуть мати різну структуру, в залежності від потреб. Такі апарати можуть бути підвісними, стаціонарними або переносними, в залежності від умов роботи. Структура таких приладів відрізняється формою та видом електродів, що контактують, а також джерелом живлення. Саме різні види джерел живлення, що можуть бути використані для приладу контактного зварювання впливають на можливості приладу щодо зварювання різних матеріалів, а також якості зварного шву. На даний момент широко використовуються такі джерела живлення зварювальних приладів, як:

- трансформаторне джерело живлення;
- трансформаторне джерело живлення з випрямлячем;
- інверторне джерело живлення;
- суперконденсаторне джерело живлення.

Трансформаторний тип має на увазі використання мережевого трансформатора для перетворення напруги до необхідного рівня. Регулювання вихідних значень струму може проводитися за допомогою зміни зазору між обмотками трансформатора. При цьому вихідний струм має змінну форму. Даний тип апаратів є найбільш надійним, але в той же час габаритним, і не може забезпечити високий рівень якості зварювання.

Тип трансформаторного джерела живлення з випрямлячем, відрізняється від трансформаторного наявністю вихідного випрямного блоку. В даному випадку зварювальний струм виявляється постійним. Це призводить до поліпшення якості зварювального шва. Однак недоліки, вага і габаритність, зберігаються.

Інверторний тип є найбільш сучасним джерелом струму для зварювальних апаратів. За останні п'ятнадцять років характеристики використовуваних в таких джерелах напівпровідникових елементів, їх якість і надійність значно зросли. Інверторні джерела живлення дозволяють досягти високої якості регулювання параметрів зварного струму, отримати високостабільні параметри, поліпшити масогабаритні характеристики [8].

Трансформатор в якості джерела живлення являється найбільш розповсюдженою технологією, який використовується з моменту винаходу технології зварювання. Якщо в якості джерела живлення встановлено трансформатор, то перед зварюванням, системі керування необхідно дослідити параметри трансформатора, для того щоб налаштувати параметри зварювального імпульсу відповідно до режиму зварювання. Після закінчення зварювання, система керування має підготувати трансформатор до повторного процесу.

Структура блоку живлення інверторного зварювального апарату складається з декількох основних складових: вхідного випрямляча, коректора коефіцієнта потужності, інвертора, ВЧ-трансформатора, системи управління (рис. 1.7). Якщо потрібне отримання постійного вихідного струму, в структуру легко може бути доданий вихідний випрямляч. Система управління формує

ШИМ-сигнал для силових ключів, обробляє сигнали зворотного зв'язку від навантаження, здійснює взаємодію з оператором, виявляє виникнення аварійних ситуацій та інше.

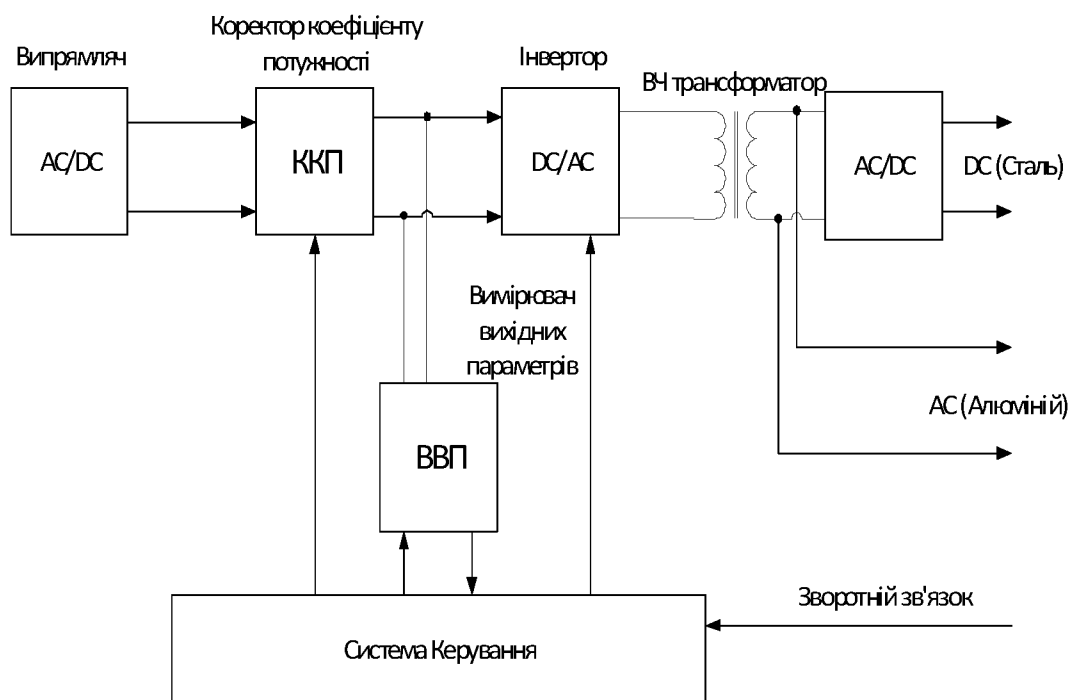


Рис.1.7 Структурна схема інверторного зварювального приладу

Проте проблема великих габаритів та маси трансформатора досі залишалася актуальною, тому подібні топології зварювальних приладів, що використовують трансформатор не позбавлені цієї проблеми. Сучасні технології дозволили використання у якості джерела живлення суперконденсатори, що значно зменшили розміри та масу приладів, а також дали змогу більш точно контролювати параметри зварювання, як частота та максимальне значення струму, що підвищило якість зварювання.

Для цього типу виробів найприйнятнішими є машини з конденсаторними дозувальниками енергії, які володіють принциповими позитивними якостями: менша чутливість до варіації контактного опору в початковій стадії нагрівання, плавна неперервна зміна густини струму, принципова можливість узгодження температурного поля з фізичними ефектами утворення з'єднання, монотонність зміни основних параметрів процесу (зменшення ймовірності дефектності виробів у разі порушень технології та жорстких режимах зварювання [9]. Також

слід врахувати простоту комутації при заряді і розряді батареї конденсаторів і можливість поступового дозування накопиченої енергії за рахунок регулювання рівня напруги заряду або тривалості імпульсу впливу. В даний час в якості ємнісних накопичувачів енергії все частіше знаходять застосування конденсаторні батареї, які виконані на базі осередків з подвійним електричним шаром, - суперконденсатори (СК). Однак, енергії одного СК може не вистачити на більш енергоємні процеси, тому СК об'єднують у декілька послідовно з'єднаних комірок (рис. 1.8). При використанні суперконденсаторів, системі керування необхідно враховувати час заряду після кожного процесу зварювання.

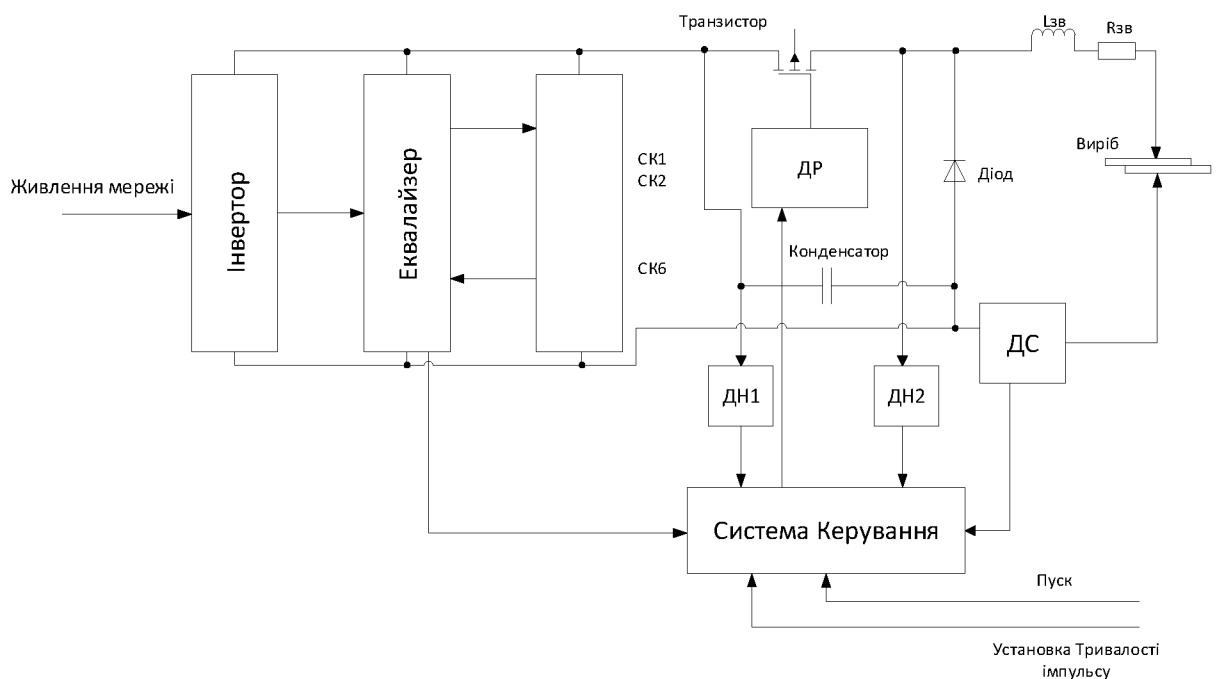


Рис 1.8 Структурна схема використання суперконденсаторів для контактної зварювання

При проведенні експериментів із СК було помічено, що напруга на об'єднаній СК батареї (СКБ) напруга менше ніж номінальна. Для найбільш ефективного використання енергетичних параметрів СКБ використовується еквалайзер, що вирівнює напруги на різних комірках конденсаторної батареї. Існують різні типи еквалайзерів:

- Пасивні розсіюють;
- Активні розсіювальні;

- Активні енергозберігаючі.

У зв'язку з сучасними вимогами до екології енергосистем та енергозбереження за доцільне детально розглянути побудову систем дозаряду СК із застосуванням активних енергозберігаючих еквалайзерів.

ДН1, ДН2 – давачі напруги, що виступають в якості зворотного зв'язку.

ДС – давач струму для реалізації зворотного зв'язку за струмом.

ДР – драйвер, що використовується для узгодження керування транзистора комутації із системою керування.

На практиці комірки СК слід об'єднувати в батареї для отримання необхідних і прийнятних струмів навантаження ємнісного накопичувача енергії. Кількість послідовно з'єднаних осередків в такій батареї визначає її робоча напруга, а кількість паралельно з'єднаних ланок - її максимальний робочий струм і ККД, що необхідно враховувати при створенні СКБ. Для якісного зварювального шву необхідно точна дозована кількість енергії, що передається за допомогою комутатора у вигляді транзистора, найчастіше IGBT [10].

1.5 Принцип побудови систем контактного зварювання

Незважаючи на різні типи контактного зварювання, принцип роботи елементарної машини буде однаковий. Основним елементом для роботи апарату є трансформатор.

Проте різні за типом джерела живлення зварювального струму апарати для зварювання поділяються на:

- машини змінного струму;
- низькочастотні;
- постійного струму;
- конденсаторні.

Умови роботи зварювального апарату полягають у тому, що на вторинній обмотці трансформатора під час короткочасного контакту виникає струм в десятки чи сотні кілоампер. Опір системи під час контакту навпаки вкрай малий

і складає десятки мікроом, тому робоча напруга на вторинній обмотці складає 12-16 вольт. Вторинна обмотка трансформатора складається з одного чи двох витків.

Основним вузлом трансформатора є магнітна система. Використовуються, як броньові так стрижневі осердя. Окремо, для контактного зварювання труб використовують кільцеві трансформатори.

Броньові осердя використовуються для зменшення потоків розсіювання в магнітній системі трансформатора, зменшення індуктивного опору. Важливо те, що таке осердя дає можливість більш надійного закріпити обмотки, які можуть бути зміщені, відносно осердя, під час проходження зварювального струму, що призведе до швидкого стирання ізоляції.

Для додаткової надійності роботи трансформатора використовується заливка пакетів первинної обмотки та вторинної обмотки епоксидним компаундом. При цьому, обмотки стають у вигляді монолітного блоку.

Кожен апарат для контактного зварювання повинен мати регулювання ступінчатим способом. Забезпечення регулювання ступінчатим способом, первинна обмотка секційована (рис 1.9).

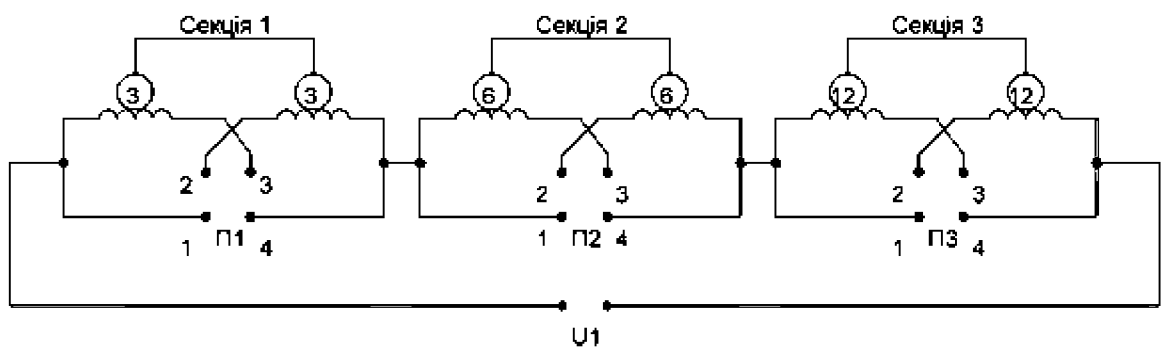


Рис.1.9 Типові схеми перемикачів первинної обмотки

Вся обмотка розбивається на декілька секцій. Кожна секція складається з однакових котушок.

Більшість сучасних машин для контактного зварювання орієнтовані на використання змінного зварювального струму нормальної частоти. Силкові зварювальні трансформатори зв'язуються з мережею живлення за допомогою вмикаючих і вимикаючих приладів різноманітної конструкції.

Основою силових комутуючих пристроїв машин змінного струму, які отримали назву контакторів, є два включених зустрічно-паралельно керованих вентиля (рис. 1.9, а), в якості яких використовують тиристори або ігнітрони. Внаслідок значно менших падінь напруг, менших габаритних розмірів і більшої надійності запуску застосування тиристорів більш переважно. На рис. 1.9 введено наступні позначення: ТР – трансформатор; СВ – силовий випрямляч; КВ – керований випрямляч; ПТВ – первинна трьохфазна система

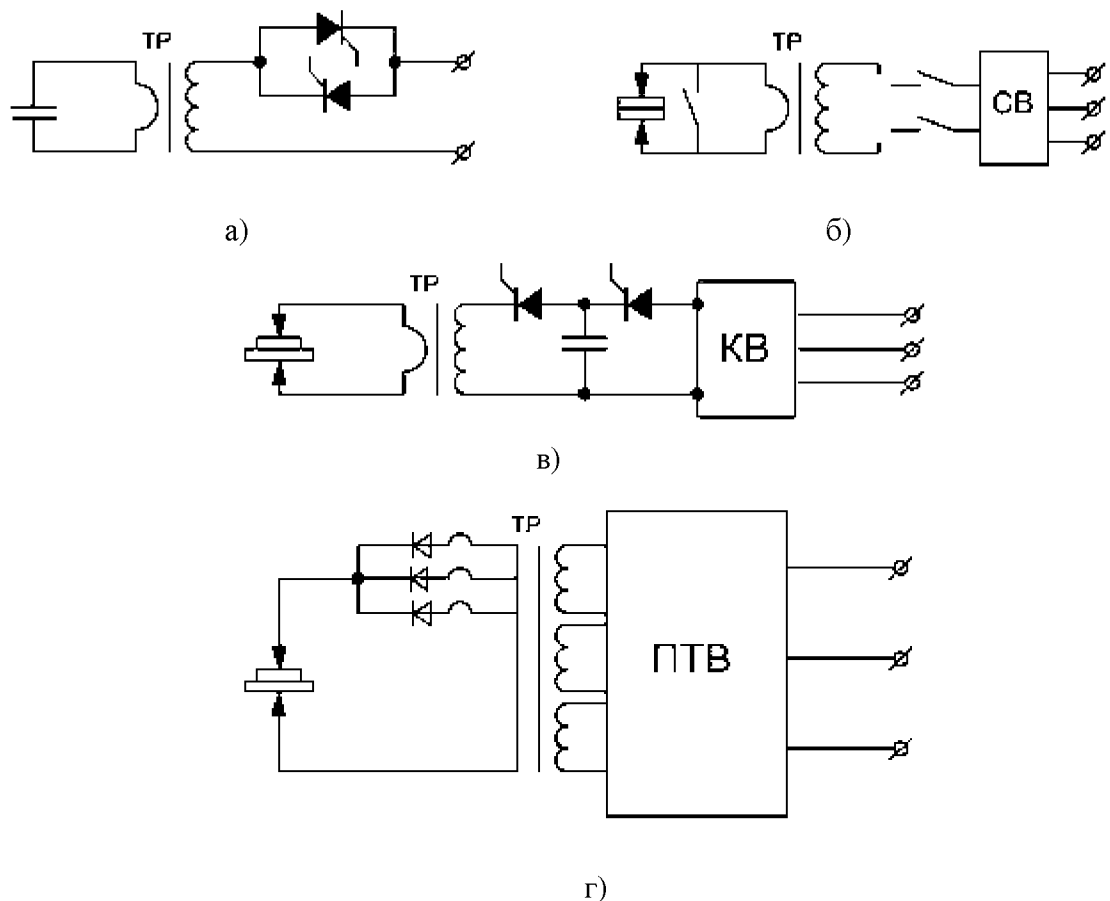


Рис 1.9 Електричні схеми точкових машин

Застосування електронних комутуючих пристроїв на первинній стороні дозволяє також здійснювати в досить широких межах плавне регулювання

первинного, а отже, і зварювального струму. Уніполярний імпульс зварювального струму можна отримати короткочасно, підключивши первинну обмотку зварювального трансформатора до джерела постійної напруги. Такий принцип покладено в основу отримання імпульсів струму в низькочастотних машинах (рис. 1.9, б).

Впровадження в контактні машини силових напівпровідників, керованих вентилів - тиристорів, а також транзисторних і інтегральних схем управління зробило доцільним знову перейти до випуску низькочастотних точкових і шовних машин на новій елементній базі.

При роботі точкових і рельєфних машин час протікання зварювального струму становить відносно невелику частку загального часу зварювального циклу, решту часу йде на опускання електродів, стиснення деталей і т. д. При шовному зварюванні відносний час протікання струму більше, ніж при точковому і рельєфному, проте не перевищує, як правило, 50%. Тому для зниження встановленої потужності зварювального обладнання в ряді випадків доцільно під час відсутності зварювального струму виробляти накопичення енергії мережі в акумулюючих пристроях. В якості накопичувачів енергії пропонувалося використовувати конденсатори, електричні акумулятори постійного струму, обертаючі маси з подальшим перетворенням механічної енергії в електричну, електромагнітні накопичувачі і деякі інші.

Промислове використання отримало конденсаторне зварювання. Найбільш широко застосовується схема трансформаторно-конденсаторного зварювання. Для з'єднання деталей малих перетинів використовується також і безтрансформаторне зварювання.

Спрощена принципова схема силової частини конденсаторної машини дана на (рис 1.9, в). Конденсаторна батарея, ємність якої може регулюватися ступінчасто, під час відсутності зварювального струму заряджається від 3х фазного керованого випрямляча. Напруга заряду U_0 може плавно регулюватися в широких границях.

В останній час найбільшого використання отримали контактні машини постійного струму, випрямленого на вторинній обмотці (рис 1.9, г).

В них контур будується так, як і схема трифазного випрямляча. Первинна трифазна система забезпечує подачу керуючих імпульсів змінного струму живлення [11].

Дані схеми постійно використовуються для побудови сучасних машин для контактного зварювання.

1.6. Проблеми побудови системи керування

В контактному зварюванні найбільш поширені розімкнуті системи програмного керування та систем управління.

Система програмного керування складається з наступних компонентів (рис. 1.10) :

- прилад для встановлення циклу зварювання;
- виконуючий прилад.

Виконуючий прилад складається з тиристорного контактора, що складається з трансформатору зварювальної машини та приводу стиснення з апаратурою керування. Прилади для регулювання циклу зварювання складаються за регулятора циклу зварювання так регулятора часу. Основною функцією цих компонентів є задання часу і струму.

До складу системи входять блоки задання часу, струму і фазовий обертач. Вже згадана система забезпечує жорстке програмування тимчасових інтервалів циклу зварювання, величин струму зварювання, підігріву та відпалу, а також управління роботою приводу стиснення зварювальної машини. Основна перевага розімкнутих систем управління – простота і швидкодія застосовуваної в них апаратури. Широке розповсюдження отримали найпростіші системи керування, що забезпечує завдання постійних значень часу і струму зварювання. Якщо необхідна модуляція зварювального струму, то застосовують системи, що дозволяють здійснити плавне наростання струму.

На (рис.1.10) наведені наступні позначення: БК1-БК3 – блоки компенсації; З(1)-З(N) – збурення системи керування; Φ – фазовий обертач; БЗЧ – блок завдання часу; БЗС – блок завдання струму; ПС – пристрій стиснення; РЦЗ – регулятор циклу зварювання; ТК – тиристорний контактор; ЗМ – зварювальна машина.

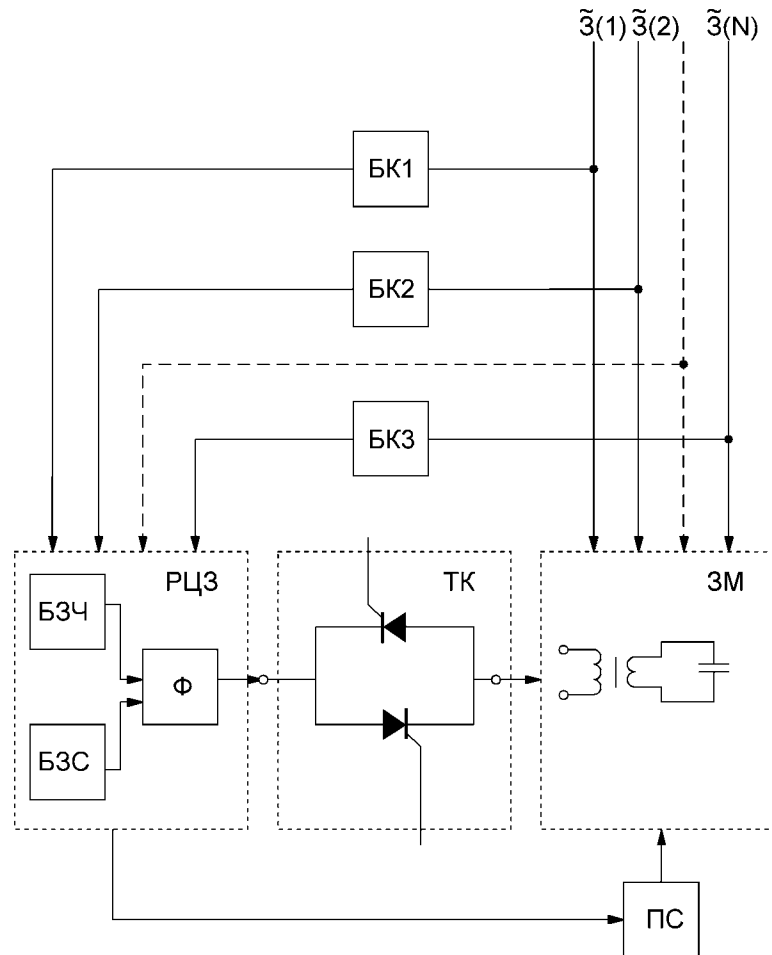


Рис. 1.10 Система розімкнутого керування і автоматичної компенсації

Недоліком розімкнених систем керування є незалежність керуючих впливів від фактичного стану зварювального процесу, так як обурення З(1) – З(N), появу і дію яких неможливо передбачити. Задля усунення такого недоліку до системи підключені блоки компенсації, які частково компенсують збурення, що виникають в системі. Вплив та формування додаткових сигналів для подавлення збурень сумуються із впливами блоків задання часу та струму від чого керуюча напруга набуває значення:

$$U_{ex} = U_{ex0} \pm \sum_{l=1}^n k_l \Delta u_{exk_l}, \quad (1.3)$$

де U_{ex0} - напруга від БЗС та БЗЧ; Δu_{exk_l} - напруга компенсації з блоку BK_l ; k_l - коефіцієнт пропорційності; n - кількість врахованих збурень.

Значення регулюючої напруги безпосередньо впливає на кут α ТК, при правильному врахуванні куту α вплив збурень буде скомпенсованим. Найпростіше таку задачу вирішує мікропроцесорна техніка.

Регулятори циклу зварювання призначені для:

- задання часових інтервалів;
- плавного регулювання величини зварювального циклу;
- включення і виключення в певні моменти пневматичних клапанів

зварювальної машини.

Складається такий блок з БЗЧ, БЗС та фазоповертча, нині аналоговий блок можливо замінити мікропроцесорною системою, що має перевагу в точності та стабільності роботи.

Задання форми і величини струму відбувається за допомогою мікропроцесорної техніки. Необхідною умовою форми струму є його плавне наростання та спадання.

Для задання форми сигналу використовують різноманітні регулятори та генератори. Для зварювання можлива лінійна форма струму, що змінюється за законом:

$$U_{кер} = kt, \quad (1.4)$$

Або квадратична форма струму, що змінюється за законом:

$$U_{кер} = kt^2, \quad (1.5)$$

У цьому випадку є можливість забезпечення зростання струму зі змінною швидкістю, що зростає з часом, що в той час зменшує вірогідність виплесків.

У даному випадку, використовуючи цифрово-аналоговий перетворювач, що контролюється мікропроцесором. Дана модуляція сигналу дає найбільшу кількість змінюваних параметрів. До того ж можна будувати різні форми струму

в залежності від потреб. Наростання сигналу відбувається ступінчато. Чим більша частота дискретизації, тим більш гладким і плавним буде наростання та спадання величини струму (рис.1.11 а,б).

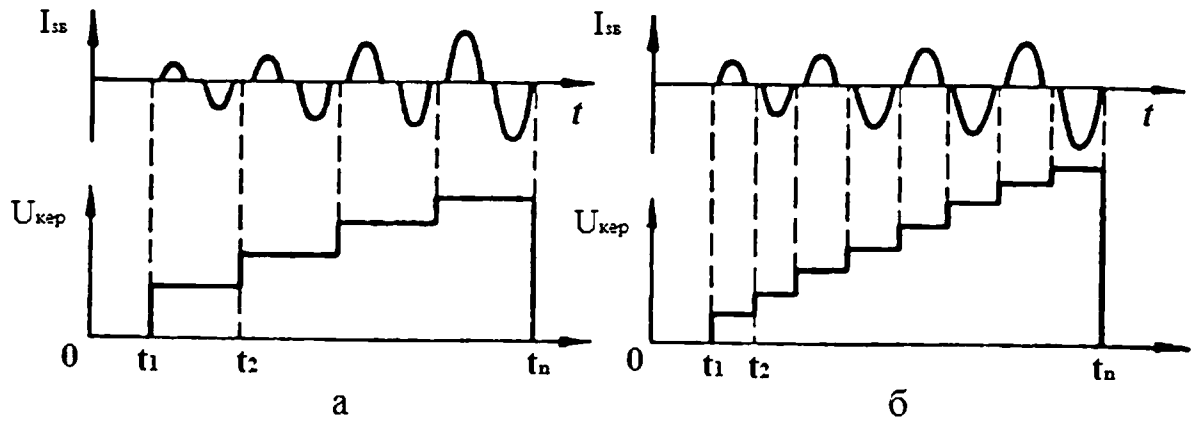


Рис.1.11 Ступінчате задання форми імпульсу струму:
а- через період; б- через напів-період

Сучасна технологія частіше використовує постійну напругу для контактного зварювання. Постійна напруга вибрана з двох причин: здатність запобігти іскріння і забезпечити оптимальний розподіл енергії. Запропонована форма імпульсу (рис. 1.12) дає можливість досягти бажаного якісного зварювання з мінімальними ризиками.

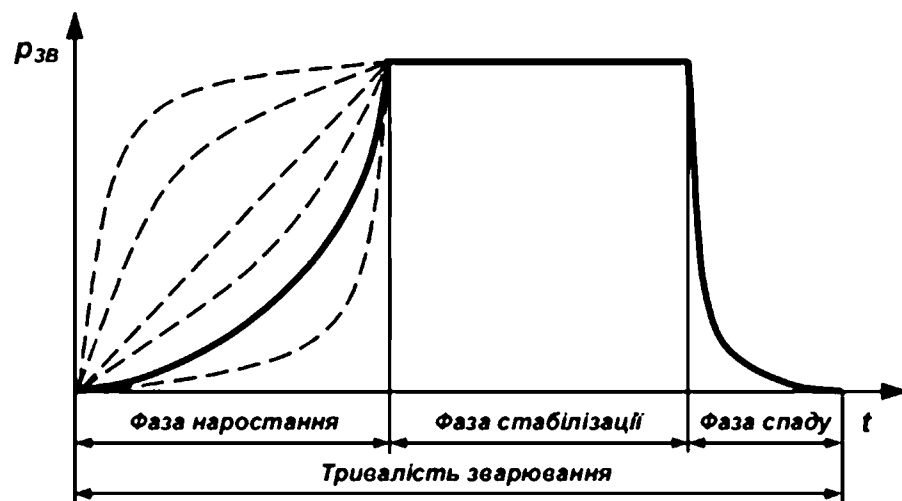


Рис 1.12. Форма імпульсу

Перевагами такого імпульсу є універсальність, так як такий імпульс найбільше підходить для аморфних матеріалів, тонких плівок, а також тонких проводів. До того ж існує можливість контролю процесу для більшої якості зварних швів. Зварювальний апарат при цьому встигає охолонути і повторити процес з частотою $\leq 1 / \text{с}$ [12].

Системи автоматичного регулювання (САР) забезпечують регуляцію та програмним способом зміну параметрів процесу зварювання. Вибір параметру регулювання – є основною задачею роботи САР. Хоч зміна одного параметру не може впливати на весь процес зварювання, проте за певними змінами забезпечує більшу якість зварювання.

Тому зараз виникає потреба у створенні універсальних систем автоматичного регулювання, які побудовані на мікропроцесорній техніці.

В табл. 1.1 наведено основні параметри контактного зварювання.

Таблиця 1.1.

№ Групи	Параметр	Значення
1.	$I_{зв}$	$I_{зв} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{св}^2 dt}, A$
	$U_{вх}$	$U_{вх} = k I_{св}, B$
	$I_{зв}^2 t$	$I_{зв}^2 t = const.$
	P	$P = I_{св} U_{вх}, Bm$
	E	$E = \int_0^T P dt, Дж$
	$U_{ел}$	$U_{ел} = const (0.5-1.5B)$
	$R_{ел}$	$R_{ел} = const, Ом$
2.	T	-
	S	$S = \tau T^4, \frac{Bm}{M^2}$
	$\Delta h_{ел}$	$\Delta h_{ел} = \frac{dh}{dt}, мм$

Параметр $I_{зв}$ є основним параметром і відноситься до першої групи параметрів керування процесу зварювання. Його форма та величина більшою частиною впливає на якість зварювання і пов'язаний з $I_{зв}^2 t$ - цей параметр є сталою, що визначає момент завершення процесу зварювання, коли величина $I_{зв}^2 t$ досягає сталого значення, система виключає подачу імпульсів струму, сповіщаючи про закінчення процесу зварювання.

Вхідна напруга розділена $U_{вх}$ залежить від струму зварювання $I_{зв}$ та коефіцієнту пропорційності k .

Величина напруги та струму дає можливість регулювання потужності P зварювального процесу.

До другої групи входять параметри температури T - одна із основних характеристик зварювального процесу. Наразі відсутні технічні інструменти, що дозволяють виміряти значення температури в ядрі зварювальної точки.

Параметр S являє собою інтенсивність випромінення інфрачервоних променів. Даний параметр залежить від сталої Больцмана τ та температури в ядрі зварювальної точки.

Ще одним важливим параметром керування процесом являється величина зміни зміщення електродів Δh , яка залежить від моменту зварювання t .

Для керування процесом зварювання достатньо буде використовувати тільки параметри $I_{зв}, U_{зв}$ [13].

Контактне зварювання – це один з найбільш ефективних, економічних, високоомеханізованих і автоматизованих способів зварювання, що забезпечують високу міцність, якість і надійність зварного з'єднання і широко використовуваних в будівництві для зварювання арматури, трубопроводів, рейок.

Виготовлення найбільш дорогих і складних вузлів легкових і вантажних автомобілів - кузовів та кабін теж ґрунтується на електроконтактного зварювання, тому даний вид являється актуальним у сучасному світі в різних галузях промисловості. Хоч принцип роботи системи не змінюється на протязі

часу, проте проста схема контактного зварювання постійно потребує нові внески і нові ідеї вирішення різних проблем, що описані були раніше [14]. Саме тому, такі системи зварювання потребують системи керування, слідження та індикації, для того щоб більш точніше розуміти процеси і всі фактори що виникають безпосередньо під час зварювання.

Автоматизація процесів зварювання являється актуальною проблемою для цієї галузі, тому питання в розробці більш універсальних та економічно вигідних систем керування зварювальним пристроєм залишається відкритим.

Висновки до першого розділу

Отже, джерела живлення класифікуються за вихідним сигналом и можуть бути лінійні або імпульсні. При цьому, форма імпульсу та параметри імпульсу необхідно налаштовувати автоматично або вручну для отримання найбільшої якості. Великі виробники джерел живлення створюють прилади, що не мають змоги налаштування імпульсу потрібної форми, оскільки вони орієнтовані на великих виробників, де потреба в налаштуванні не потрібна, оскільки прилади працюватимуть постійно в одному режимі. Такі прилади можливо налаштовувати, проте необхідна заміна елементів або програмного забезпечення для коректної роботи.

Тому метою роботи є дослідження різних топологій живлення, системи керування для джерела живлення з можливістю керування вихідних параметрів зі зворотнім зв'язком для підтримання стабільності вихідного сигналу, що знайде своє призначення у сфері контактного зварювання, а також у сфері ювелірного виробництва та у лабораторних стендах. На основі проблем, що були підняті, вимогами до приладу є його простота у керуванні, не велика вартість, можливість роботи з великим струмом.

2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

2.1 Види систем керування для контактного зварювання

Одним із ефективних шляхів підвищення якості та надійності зварних швів та з'єднань, отриманих при контактному зварюванні в процесі виготовлення деталей приладобудування являється створення систем автоматичного регулювання. При контактному зварюванні найбільш розповсюдженими являються розімкнені системи програмного керування та системи компенсації. Система програмного керування складається із приладу задання циклу зварювання, виконуючих приладів у вигляді тиристорних або транзисторних контакторів, приладу автоматичного стиснення деталей та джерела живлення. Дана система забезпечує точне програмування часових інтервалів циклу зварювання, величини струму зварювання, підігріву матеріалу та відпал, а також керування приводу стиснення матеріалів. Перевагою розімкнених систем є простота та швидкодія. Такі системи керування отримали можливість задання параметру часу та струму зварювання. Сучасні розімкнені системи керування дозволяють змінювати зварний струм за попередньо вказаною програмою, що забезпечує отримання високоякісні з'єднання.

Недоліком розімкнених систем керування являється незалежність керуючих впливів від фактичного стану зварного процесу, оскільки збурення, що утворюються під час процесу зварювання неможливо передбачити і врахувати у законі керування. Системи розімкненого типу можуть забезпечувати якість керування тільки у випадку, коли об'єкти керування повністю виконують сигнали керування. Для запобігання недоліку розімкнених систем додатково є можливість встановлювати системи компенсації, що будуть компенсувати збурення, що виникають під час зварювання. Додаткові блоки компенсації призначені для вимірювання найбільш суттєвих збурень і формування додаткових компенсуючих впливів, які сумуються із керуючим сигналом. Результируюча керуюча напруга на вході контакторів буде наступною: [15]

$$U_{ex} = U_{ex0} \pm \sum_{i=1}^n k_i \Delta u_{exk_i}, \quad (2.1)$$

де U_{ex} - напруга від блоків задання часу протікання циклу зварювання; Δu_{exk_i} - напруга компенсації; k_i - коефіцієнт пропорційності; n - кількість збурень, що враховуються.

Замкнені системи мають два канали:

1. канал передачі інформаційних сигналів;
2. канал зворотного зв'язку.

По каналу зворотного зв'язку передається інформація о значеннях керованих величин в об'єкті керування. В таких системах керування ведеться на основі результатів порівняння потрібного значення з фактичними значеннями керованих величин. В залежності від властивостей каналу зворотного зв'язку замкнені системи керування можуть працювати в режимі неперервного регулювання, при якому на протязі всього циклу зварювання в системі відстежується заданих параметр керування і в режимі с з нелінійним, пороговим зворотнім зв'язком, який спрацьовує при досягненні керованих параметрів з певним заданим значенням.

Системи безперервного регулювання мають значні переваги по відношенню до точності заданих параметрів на протязі всього часового інтервалу процесу зварювання.

Регулятори з пороговим зворотнім зв'язком забезпечують високу точність відпрацювання заданого параметра тільки при досягненні значення заданого рівню, на протязі всього попереднього часового проміжку, тому якісні показники відповідають показникам систем розімкненого типу.

Системи керування замкнутого типу с автоматичним регулюванням функціонально можна поділити на 4 класи:

1. для відтворення і первинного перетворення інформації;
2. для передачі інформації;
3. для обробки отриманої інформації;

4. для отримання керуючих впливів на процес зварювання.

До першого класу входять вимірювальні прилади, давачі що за допомогою різних фізичних властивостей перетворюють дані у вихідний сигнал, який далі можна обробити на мікропроцесорі.

Другий клас складається з ланок передачі інформації і каналів зв'язку. Прилади у вигляді драйверів адаптують вихідний сигнал до необхідного рівня, згладжуючи його.

Третій клас представляють собою прилади для обробки виміряної інформації та прийняття подальших рішень, що впливатимуть на процес зварювання на базі отриманої інформації. Такими приладами є різні цифрові і аналогові мікросхеми перерахунку та програмовані мікроконтролери, дію яких можна налаштувати за допомогою програми.

Четвертий клас представляють собою технічні прилади, що виконують безпосереднє керування об'єктом, а також джерелом живлення та приладом стиснення відповідно. [16]

2.2 Системи керування зі зворотнім зв'язком

Мета автоматизації зварювальних процесів - отримання зварних з'єднань з необхідними властивостями при найкращих техніко-економічних показниках без безпосередньої участі людини. Автоматизація зварювальних процесів, при якій підвищується точність управління і контролю, а також виключається вплив на технологічний процес суб'єктивних чинників (майстерність робітника, його стомлюваність та інше), Спрямована перш за все на підвищення якості зварних з'єднань і його стабілізацію в межах партії однотипних виробів . Виняток або зведення до мінімуму кількості неприпустимих дефектів зварних швів знижує втрати робочого часу, енергетичних і матеріальних ресурсів, пов'язані з виправленням браку.

Безпосереднє рішення загальної задачі автоматизації зварювального виробництва утруднено багатомірністю об'єктів. Вибір оптимального варіанта

стратегії керування зварювальними процесами визначається типом технологічного процесу і основними цілями. Апаратура і системи управління класифікуються за алгоритмом управління, який визначає вибір альтернативної мети управління. При цьому можна виділити наступні групи систем керування.

Для вирішення найпростіших завдань автоматизації зварювальних процесів таких, як переміщення джерела нагріву, зміна сили зварювального струму, застосовують програмне керування (ПК) з розімкненим циклом (рис. 2.1,а). Запрограмоване пристрій змінює керуючий вплив X_y за законом, що задає необхідні зміни керованої величини в зварювальному процесі як об'єкт керування (ОК). Для попередження шкідливого впливу на зварювальний процес окремих очікуваних збурень, що вимірюються за допомогою вимірювача збурень (ВЗ), наприклад, зміни напруги мережі, використовують розімкнуті системи компенсації за законом X_k , що володіють підвищеною швидкодією (рис. 2.1, б).

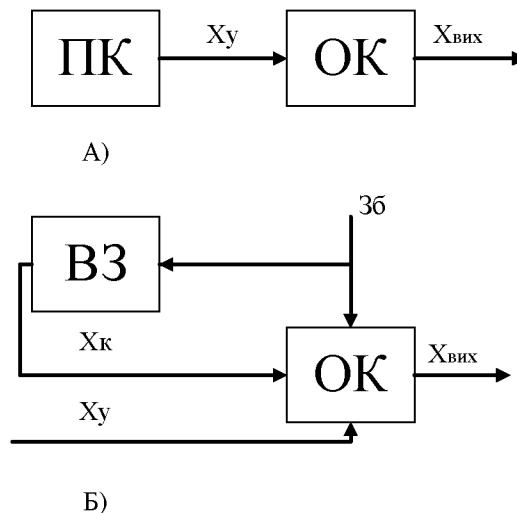


Рис 2.1. Розімкнена система керування

Замкнені системи керування мають прилади зворотного зв'язку, що дає можливість отримання параметрів зварювання прямо з місця зварювання. Параметрів впливу на процес зварювання є велика кількість, проте найбільш суттєвими являються зварний струм та напруга, які необхідно буде отримати із місця зварювання.

В замкнутих системах автоматичного регулювання (САР) зміна регулюючого впливу X_p (рис. 2.2), визначає зміна регульованої величини $X_{вих}$, відбувається до тих пір, поки $X_{вих}$ не досягне необхідного значення і не відновиться рівновага системи регулювання, яке визначається умовами:

$$\begin{aligned} |X_{ex}| &= |X_{o.c.}|; \\ \Delta X &= |X_{ex}| - |X_{o.c.}| = 0. \end{aligned}$$

сс

Рис.2.2 Замкнена система керування

1, 2, 3 – прилади, що відповідно, задають, порівнюють та перетворюють вхідний сигнал; 4 – виконавчий прилад; 5 – об'єкт; 6- датчик зворотного зв'язку.

Джерелом коригуючого впливу на систему служить головний (негативний) зворотний зв'язок, сигнал $X_{з.з.}$ якого визначається тільки відмінністю виміряного значення $X_{вих}$ від задається X_{ex} , і не залежить від параметрів і робочі місця збурень В. Зворотні зв'язки виконуються на основі вимірювачів сили зварювального струму, напруги, різних видів випромінювань із зони зварювання, положення кордону шлак-метал при електрошлакового зварювання, переміщень електродів або заготовок при контактному зварюванні та інших параметрів зварювального процесу. Замкнені САР застосовують насамперед для стабілізації енергетичних параметрів зварювальних процесів. [17]

Існують системи керування, що регулюють зварний струм, а також є системи керування, що регулюють напругу зварювання. Зварний струм $I_{зв}$ в замкненому колі регулюється на первинній обмотці трансформатора, при трансформаторному джерелі живлення. Регулювання $I_{зв}$ відрізняється тим, що електронні перемикачі під часу проходження $I_{зв}$ багаторазово вмикаються і вимикаються, а керуючий вплив електронних перемикачів проводиться із більшою частотою порівняно із частотою мережі. Тому, під час однієї на півхвилі

напруги мережі потужність може багаторазово змінюватися, при чому зміна фактичного струму із ростом числа можливих перемикачів наближається до зміни заданого струму. Перемикач можна зробити за допомогою потужних транзисторів. Таке регулювання за струмом можливе при інверторному та конденсаторному зварюванні, при чому система дає змогу регулювання навіть при дуже малих процесах зварювання. Проте системи керування із регулюванням за $I_{зв}$ не знайшли широкого використання через складні закони зі зворотнім зв'язком за струмом, так як не існує єдиного закону зміни струму, що змушує використовувати один закон тільки для певних конкретних випадків.

Найбільш широкого використання набули системи керування із регулюванням зварної напруги $U_{зв}$ між електродами. Зона зварювання являється одним із елементів ланки зварювальної машини, що впливає на величину її струму і відповідно падіння напруги на ділянці електрод-електрод. $U_{зв}$ залежить від сукупності розподілу параметрів напруги на вторинній обмотці трансформатора, повного опору контуру, що включає опір обмоток трансформатора і провідності зони зварювання. Провідність залежить від товщини і підготовки матеріалу, сили стиснення електродів, їх кривизни та температури нагрів металу під впливом зварного струму. Таким чином, параметр $U_{зв}$ може бути використаний, як непряма характеристика теплового стану зварного контакту.

Для автоматичного регулювання процесу одностороннього контактного зварювання із підтримання постійної напруги на навантаженні зварювального трансформатора шляхом формування та підсилення сигналу зворотного зв'язку, для порівняння його із заданою опорною напругою і зупиненням процесу в момент досягнення значення опорної напруги. В якості зворотного зв'язку використовують диференційований сигнал напруги та первинної обмотки зварного трансформатора. На відміну від попередніх методів для керування процесом використовується зворотній зв'язок, що має інтегрування сигналу за часом. В системі шляхом попереднього програмування задаються параметри, що

забезпечують шагові зміни режиму зварювання в залежності від сигналу неузгодженості.

Контроль так керування процесом за опором між електродами R_{zg} має схожість з контролем за напругою U_{zg} . Вимір опором проводиться різними способами, що забезпечують найвищу точність вимірювання. Більшість схем побудована за принципом виміру величини динамічного опору між електродами в порівнянні із заданою величиною і в випадку відхилення від заданих значень, вносяться поправки режиму зварювання із метою підвищення якості зварного шву. Також, для стабілізації якості зварних точок використовуються декілька запам'ятовувальних пристроїв, де перший пристрій фіксує величину опору раніше зробленої точки, друге реєструє контактний опір при постановці наступної зварної точки. З урахуванням цих даних, мікропроцесор виконує розрахунок сили струму, що необхідний для отримання якісної зварної точки.

2.3 Програмовані системи керування для контактного зварювання

Автоматизація процесу зварювання та підвищення якості зварного шву полягає у регулюванні багатьох зварних параметрів. Вирішення проблеми підвищення якості контактного зварювання пов'язано з розробкою спеціальних керованих джерел зварного струму та систем регулювання електронагрівання із програмованими електричними параметрами та формою зварного імпульсу струму, що дає отримати стабільний та оптимальний, з технологічної точки зору, цикл електронагрівання. Для отримання якісних зварних швів при різних матеріалах та їх товщиною необхідно автоматично регулювати або програмувати вхідні дані для системи керування, яка далі зможе налаштувати автоматично значення зварного струму, напруги та потужності. Програмувати можна тривалість процесу зварювання, силу стиснення та інші параметри. Для уникнення падіння напруги на електродах під час процесу зварювання через зміну опору, вводиться додатковий сигнал корекції, що враховує коливання напруги джерела живлення та мережі живлення. При досягненні напруги

заданого рівня напруги $U_{зв}$ вимикається $I_{зв}$. З метою підвищення якості зварних з'єднань при зварювання вимірюється контактна різниця потенціалів між з'єднувальними елементами, вираховується похідна і за допомогою цих параметрів регулюється потужність та час процесу зварювання.

Сучасні системи керування будуються на програмованих мікропроцесорних системах, що мають внутрішню пам'ять та ядро виконання операцій, що дає змогу програмувати систему керування відповідно до своїх потреб. Налаштовувати параметри зварювання для отримання якісних зварних швів. Програмовані системи керування дають можливість регулювання форму імпульсу та задавати свою форму імпульсу. Автоматична система керування враховує параметри джерела живлення та температуру електродів, аби підгодовувати систему до наступного зварювання. Програмовані системи керування можна створювати на різних мікропроцесорах, як:

- AtMega,
- AtTiny,
- STM8-32,
- Raspberry PI,
- Миландр та інші.

Усі системи підтримують програмування на «С» подібних мовах програмування, Assembler та, в деяких випадках, мову програмування «Python», що дає великі можливості до створення моделей зварного імпульсу та обрахунок параметрів зі зворотних зав'язків для подальшої корекції вихідного сигналу. Формування вихідного сигналу відбувається за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). Чим більша розрядність ЦАП, тим точніша можливість коригування вихідного сигналу. За допомогою сучасних мов програмування є можливість створення окрім математичних моделей передбачення якості зварних швів використання штучного інтелекту.

2.4 Оцінка якості зварних швів контактного зварювання з допомогою нейронних мереж

На будь-якому підприємстві використовуються роботизовані та автоматичні системи контактного зварювання. Проте, під час активного використання зварної машини, електроди окислюються, тому якість зварювання може змінюватися саме через такі завади.

Для підвищення надійності і міцності конструкції кількість точок на кузові встановлюється приблизно на 30% більше, ніж необхідно. Це викликано, зокрема, тим, що до теперішнього часу в масовому виробництві відсутній ефективний контроль якості точок в реальному часі. По суті, якість зварних точок на виробництві оцінюється лише за результатами вибіркового механічного випробування і металографічних досліджень дослідних зразків або руйнуванням зварних конструкцій.

Відомі методи неруйнівного контролю (рентгеносвітіння, ультразвукової, дилатометричні і ін.) В силу тих чи інших причин мають обмежене застосування. Крім того, ці методи, як правило, можуть бути використані для реєстрації якості вже виконаних з'єднань. Останнє призводить не тільки до подорожчання операції контролю, а й виключає можливість виявлення браку в ході процесу зварювання і своєчасного його виправлення. В результаті істотно знижується продуктивність контактного зварювання і її економічні переваги. Так, згідно з даними роботи, зменшення числа дефектних точок і зниження їх загальної кількості за рахунок підвищення якості всього лише на 10%.

У роботах наведені приватні рішення по контролю якості з'єднання і управління режимом зварювання, однак широкого застосування в промисловості вони не отримали. Зауважимо, що в більшості відомих робіт автори прагнули знайти будь-якої один параметр процесу, інформація про який дозволив би оцінювати якість з'єднання.

Так, результати проведених досліджень підтвердили можливість використання переміщення електродів під час зварювання для автоматичної оцінки динаміки освіти зварної точки, а також для регулювання процесу за сигналом зворотного зв'язку (про швидкість переміщення верхнього електрода) з метою забезпечення заданого діаметра ядра. Однак недосконалість датчиків і приводу зусилля стиснення електродів, затирання і перекиє в напрямних механізми приводу контактної машини перешкоджали широкому впровадженню зазначеного способу контролю в промисловість. В останні роки окремі фірми рекламують спеціальні контактні, точкові машини, що використовують цей принцип в NPT System (Non Programming Technology).

Критерій якості контактної точкової зварювання (міцність з'єднання, розміри литий зони ядра та ін.) Визначається результатом взаємодії багатьох параметрів, зміна яких не завжди може бути враховано внаслідок їх випадкового характеру. Крім того, контактне зварювання може бути віднесено до такого класу технологічних процесів, при якому критерій якості (наприклад діаметр ядра), необхідний для побудови системи управління вимірюється тільки в дискретні моменти часу (при зварюванні і випробуванні дослідних зразків), але не безперервно. Однак деякі параметри процесу (зварювальний струм, напруга між електродами, зусилля стиснення електродів і переміщення електродів), корельовані з критерієм якості можуть вимірюватися в будь-яких дискретних моментах, а також безперервно. Завдання полягає в тому, щоб за допомогою безперервного вимірювання основних параметрів режиму в ході зварювання з певною точністю автоматично оцінювати розміри діаметра ядра зварної точки.

Основними параметрами режиму точкової контактної зварювання є тимчасові залежності зварювального струму і зусилля стиснення електродів.

$$d_{\text{ядр}} = a_0 + a_1 F_{\text{ст}} + a_2 Q + a_3 Q^2, \quad (2.2)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти; $F_{\text{ст}}$ - сила стиснення електродів; $d_{\text{ядр}}$ - діаметр зварного ядра; Q - енергія зварювання.

$$Q = \int_0^{t_{36}} u_{36} \cdot i_{36} dt \quad (2.3)$$

Штучні нейронні мережі не програмуються, а навчаються. Процес навчання ІНС полягає в тому, що набір вхідних даних «пропускається» через нейронну мережу, щоб по відомих правильних вихідних даних і відповідей (реакції) мережі визначити значення синаптичних ваг. Алгоритм навчання задається набором правил, які визначають, яким чином змінюються ваги у відповідь на вхідний вплив. Навчання триває до тих пір, поки на виході не буде отримана відповідь із заданою похибкою.

На початку навчання ваговим коефіцієнтам привласнюються випадкові значення. Відбувається пряме поширення вхідного сигналу через мережу, обчислюється помилка між отриманим результатом і заданим правильним значенням, потім - зворотне поширення помилки від вихідного шару нейронів до вхідного і модифікація синаптичних ваг і порогів нейронів. Процес багаторазово повторюється до тих пір, поки середньоквадратична помилка вихідного сигналу не стане менше деякого наперед заданого значення. Якщо ця помилка в процесі навчання зменшується, мережа збігається.

За допомогою штучної нейромережі можна будувати складні розділяють поверхні в просторі параметрів режиму зварювання (класифікатор) або апроксимувати складну нелінійну функцію (інтерполятор). Зварювальні процеси, як правило, характеризуються нелінійною залежністю якості зварних з'єднань від параметрів режиму зварювання. Крім того, інформація про процес часто має суперечливий характер, сигнали від датчиків параметрів режиму містять шуми, тому штучну нейромережу можна використовувати як для автоматичної оцінки якості, так і для управління технологічним процесом (рис 2.3), де $\omega^{(1)}, \omega^{(2)}$ -синтаксичні ваги відповідно прихованих і вихідних шарів; $\sigma(S_n)$ -сигмоїдальна функція нейронів прихованих і вихідних шарів; 1-4 – інтервали циклу зварювання.

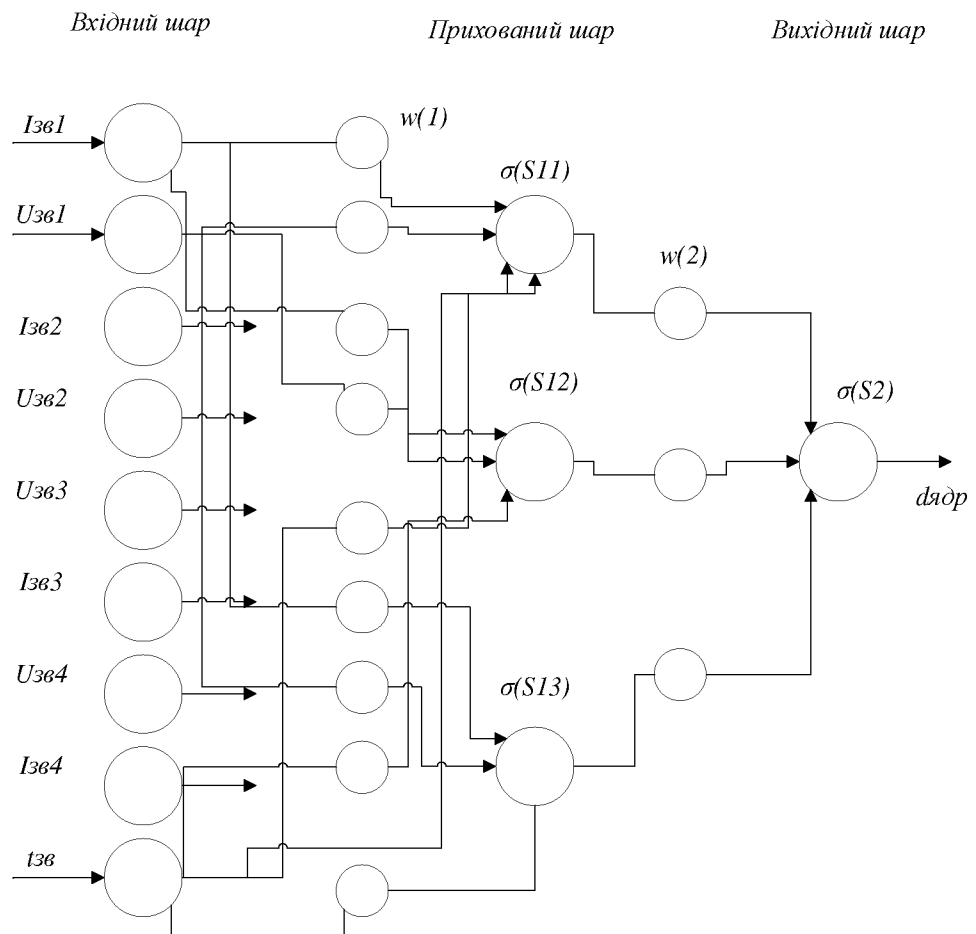


Рис 2.3 Структурна схема нейронної мережі С-3-1 для оцінки якості зварювання

Якщо на вхід такої мережі подати параметри, що характеризують процес точкового зварювання, наприклад $I_{зв}, U_e, t_{зв}$ та ін., а в якості виходу використовувати показники якості зварювання $d_{ядр}$ і зусилля на розрив $F_{розр}$, то можна оцінити функціональний зв'язок між цими параметрами і в надалі таку нейронну мережу використовувати для визначення якості зварювання без руйнування зварного з'єднання.

Нейронна мережа здатна обробляти інформацію після навчання. Сутність процесу навчання полягає в зміні вагових коефіцієнтів зв'язків між нейронами і їх порогів збудження відповідно до прийнятих для цієї мережі правилами адаптації. Відомі кілька способів навчання нейронної мережі. Найбільш поширеним є спосіб з учителем, при якому використовується навчальна вибірка параметрів «вхід-вихід», наприклад $(I_{зв}, U_e) - d_{ядр}$. При цьому на вхід мережі

подаються параметри $I_{зв}$, U_e і ін., А значення $d_{ядр}$ виходу мережі порівнюється з тим, яке задано в навчальній вибірці. Отримана різниця використовується для зміни параметрів мережі - вагових коефіцієнтів і порогів нейронів.

Для отримання залежності показника якості зварного з'єднання - діаметра ядра від параметрів, що характеризують процес точкового зварювання, може бути використана тришарова нейронна мережа, яка навчається методом «back propagation».

Зазначена нейронна мережа має 1 нейрон у вихідному шарі і від 2 до 15 нейронів в прихованому шарі. Для навчання було сформовано вибірку у вигляді набору зварних точок при різних параметрах режиму зварювання; для кожної точки записані параметри, що відображають режим зварювання, плюс виміряне значення діаметра ядра. [18]

3. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ КОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ

3.1 Зворотні зв'язки системи керування

Отже, для створення системи автоматичного регулювання необхідне використання зворотних зв'язків, для створення коригуючого сигналу, що буде підтримувати еталонні значення параметрів, що формує формувач імпульсів. Така система керування має бути замкненою. Параметрів зворотного зв'язку при контактному зварюванні велика кількість, проте основними вважаються зворотній зв'язок за напругою, струмом та потужністю.

3.1.1 Зворотній зв'язок за напругою

Зворотній зв'язок може знімати показання із джерела живлення контактної зварювання або із безпосередньо електродів. Одночасно можна використовувати обидва зворотні зв'язки для компенсації сигналу. Компенсуючий зворотний зв'язок за напругою джерела живлення $U_{дж}$ (рис 3.1) є найбільш вивченою і наразі широко використовується при будівництві систем автоматичного керування контактним зварюванням. На рис. 3.1. КМ-контактна машина; ТК- транзисторні ключі; К- комутатор; ВП – вимірювальний пристрій (датчик напруги). [19]

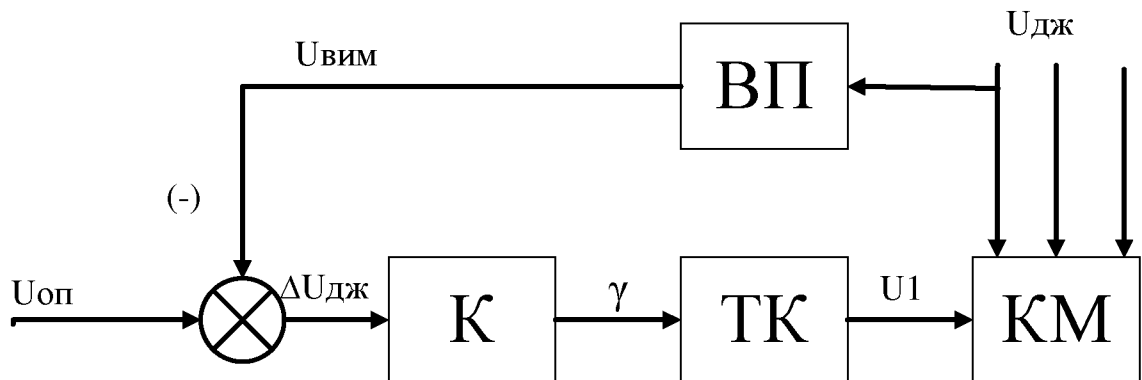


Рис 3.1 Система компенсації коливань напруги джерела живлення

Перед початком зварювання, сигнал величини виміряної напруги $U_{вим}$ джерела живлення від вимірювального приладу передає сигнал на один із входів суматора, на другий вхід якого подається величина опорної напруги $U_{оп}$ джерела живлення. При цьому, на комутуючий пристрій подається відповідний сигнал керування, що відповідає коефіцієнту заповнення сигналу γ ШІМ для

транзисторних ключів, що призводить до корекції потужності вихідного сигналу, шляхом корекції діючої напруги U_1 . Компенсуючий зворотний зв'язок за напругою джерела живлення достатньо просто реалізується і підвищує якість зварних характеристик зварних швів при коливаннях напруги до 20%.

Під час процесу зварювання опір електродів та матеріалу, що зварюється змінюється, тому спостерігається падіння напруги на електродах під час циклу зварювання, що може привести до не провару і не якісного з'єднання. Датчик напруги для зворотного зв'язку у місці електрод-електрод реалізується за допомогою електронного приладу з високим опором як резистор, що дає змогу вимірювати величину напруги на електродах, не пропускаючи великий струм кола. Напруга на зварювальних приладах контактного зварювання складає від 2 до 5В, що дає змогу уникати перетворювачів напруги для отримання найбільш точних даних.

3.1.2. Зворотній зв'язок за струмом

Для керування температурою та процесом зварювання необхідно контролювати силу струму, що проходить через електроди та зварювальний матеріал. Під час циклу зварювання змінюється зварний струм. Формувачі системи керування створюють еталонну форму імпульсу струму, що має пройти через електроди і реальні значення струму будуть змінюватися через різні властивості матеріалів та величину опору матеріалів та електродів. Для коригування зварного струму необхідно отримувати реальні значення з електродів, що будуть передані до системи керування, яка повинна буде компенсувати збурення за струмом та подати коригуючий сигнал до комутаторів джерела струму.

3.2 Регулятори параметрів системи керування

При контактному зварюванні, параметри режиму переважно визначаються за значенням потужності, яка витрачається у зоні зварювання під час процесу нагрівання. При цьому повинна виконуватись умова стійкості оплавлення, тобто потужність на деталях не повинна виходити за межі певного діапазону її значень, який, в свою чергу, визначається як фізичними характеристиками зварюваних деталей, так і технічними характеристиками зварювальної машини.

Досить часто виникає задача визначення необхідності коригування параметрів режиму при переході від однієї машини до іншої, з відмінними технічними характеристиками. Перевірку проводять експериментально, зварюючи партію пробних зразків, що вимагає тривалого часу через проведення додаткових експериментів. Додатково задача ускладнюється тим, що на значення потужності оплавлення впливають окрім енергетичних параметрів режиму механічні та кінематичні: виліт деталей, швидкість їхнього переміщення та ін. На сьогоднішній день подібні задачі вирішують шляхом побудови моделей відповідного процесу зварювання з урахуванням характеристик обладнання [20].

Оскільки процеси зварювання супроводжуються різними змінами у провідності матеріалів, це впливає і на електричні параметри джерела живлення. Необхідно постійну проводити регулювання вихідних параметрів джерела живлення, які знімаються за допомогою датчиків зворотного зв'язку безпосередньо із місця протікання процесу зварювання. Метою регуляторів є отримання даних зворотного зв'язку, та одночасно компенсації збурень та відхилень які можуть виникати під часу циклу зварювання і додатково впливати на якість зварного шву. Регулювання може протікати за напругою або за струмом, також існують комбіновані регулятори які досягають найбільш точного результату регулювання.

3.2.1 Регулятори напруги

Під час оплавлення у колі машини відбуваються перехідні процеси, пов'язані із різкою зміною опору при руйнуванні перемичок та значним індуктивним опором вторинного кола машини. Внаслідок цього напруга у вторинному колі має дві складові: детерміновану та стохастичну. Детермінована

складова являє собою періодичний сигнал із частотою мережі. Стохастична має підвищену частоту, значення якої залежить від умов протікання процесу оплавлення. Тому для моделювання фізичних явищ при контактному стиковому зварюванні безперервним оплавленням доцільно застосувати апарат математичної статистики. Високочастотна (стохастична) складова напруги має вигляд кривої із періодами підвищення значень (імпульсами), які відповідають процесові руйнування перемички, та зниження (паузи), які відповідають моментам утворення та нагрівання нових контактів. Граничне значення напруги на деталях, яке можна вважати перехідним між імпульсом та паузою, доцільно призначити на рівні 0,02 В, оскільки згідно даних при подальшому зниженні напруги іскровий процес виявляється потенційно неможливим [21].

В регуляторах напруги на вхід вимірювального пристрою подається напруга, яку знімають з електродів зварювальної машини. Вимірювання падіння напруги між електродами пов'язане з певними складнощами, які полягають у тому, що абсолютне значення $U_{ел}$ звичайно, невелике і не перевищує 0,5-2,5 В. У той же час на вимірювальне коло діє наведення від проходження зварювального струму, що складається з вимірювальною напругою і вносить визначену похибку. Існують методи компенсації цього наведення за допомогою зустрічно-ввімкненої напруги U_k , яка знімається з індуктивності, встановленої у контурі зварювальної машини (рис. 3.2).

В результаті, вдається в певних межах зменшити похибку вимірювання $U_{ел}$. В усьому іншому принцип дії регулятора напруги аналогічний роботі регулятора струму і використовує також принцип керування за відхиленням.

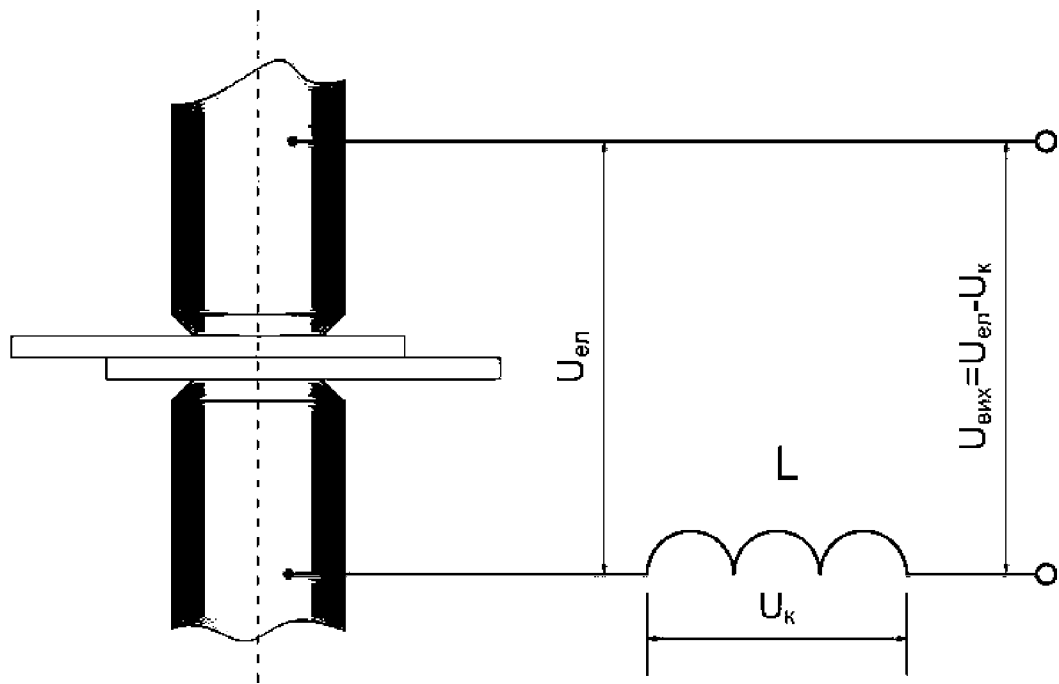


Рис. 3.2. Схема компенсації наведення під час вимірювання U_{el}

Для регулювання струмів та напруг у регуляторах живлення використовується зворотній зв'язок виконаний у вигляді сенсорів струму та напруги, що передає значення на центральний контролер, що дає змогу перерахувати кут відкриття тиристорів, при використанні тиристорного керування, та коефіцієнт заповнення для транзисторного керування [22].

3.2.2 Регулятори струму

Оскільки процеси зварювання супроводжуються різними змінами у провідності матеріалів, це впливає і на електричні параметри джерела живлення. Струм та напруга можуть різко змінюватися під час процесу і для їх стабілізації зварювальні прилади мають регулятори за струмом та напругою. Конструктивно регулятор розділений на функціональні блоки:

Блок живлення, який складається із трансформатора і блока стабілізаторів на печатній платі і служить для перетворення напруги живлення мережі в напругу необхідної форми і величини для живлення всіх блоків регулятора;

Блок циклу, призначений для задання необхідної циклограми роботи контактної машини;

Блок рахунку, призначений для перетворення двійково-десятькового ходу і погодження з заданими значеннями тривалості позицій перемикача;

Блок регулювання струму, призначений для керування фазою включення тиристорного контактора або коефіцієнтом заповнення при транзисторній комутації джерела живлення. В схему фазового регулювання входить також понижувальний трансформатор, через який вводиться напруга з тиристорів контактора;

Блок підсилювачів, призначений для підсилення імпульсів керування тиристорним контактором, а також для включення клапанів.

Керування регуляторами проводиться шляхом замикання і розмикання контактів зварювальної машини. Дана структура була розглянута прикладі приладу РКС-801 [23].

Автоматичне регулювання струму також залежить від джерела живлення, що використовується у приладі. Для схеми живлення з акумульованою енергією (в електричному полі конденсатора), а протягом останніх років - з живленням постійним струмом або струмом низької частоти використовується регулятор, що вимірює струм спеціальними вимірювальними перетворювачами, що використовують шунти, трансформатори струму, пояс Роговського, датчики Холла та ін. Оскільки вторинні струми контактних машин сягають кількох десятків і навіть сотень кілоампер, найзручнішим датчиком струму є пояс Роговського. Датчики Холла використовують для вимірювання великих струмів, однак вони не є достатньо стабільними, особливо під час коливання температури оточуючого середовища. Шунти і вимірювальні трансформатори на великі струми мають занадто громіздку конструкцію.

Пояс Роговського є тороїдом із немагнітного матеріалу, наприклад, текстоліту, рівномірно обвитого тонким дротом, який надівають на струмоведучі частини вторинного контуру зварювальної машини. Е.Р.С. на виході пояса Роговського пропорційна швидкості змінювання зварювального струму:

$$e = -\mu_0 F \frac{\omega}{l} \frac{di}{dt} \quad , \quad (3.1)$$

де, μ_0 - магнітна стала; F - поперечний переріз тороїда; ω - кількість витків обмотки; l - довжина середньої лінії тороїда.

Напруга з тороїда подається на інтегратор, вихідна напруга якого виявляється пропорційною миттєвому значенню зварювального струму $I_{зв}$.

Подальше перетворення сигналу залежить від того, яке значення струму необхідно виміряти для регулювання: діюче $I_{зв}$, середнє $I_{ср}$, або амплітудне I_m . В машинах для конденсаторного зварювання, низькочастотних і постійного струму звичайно вимірюють амплітудне значення I_m . В машинах змінного струму - діюче $I_{зв}$ або середнє значення струму $I_{ср}$.

Діюче значення струму найтісніше пов'язане з тепловими характеристиками процесу зварювання, однак іноді, щоб зробити простішою вимірювальну апаратуру, в системах регулювання використовують середнє значення струму.

Щоб одержати діюче значення струму необхідно виконати перетворення:

$$I_{зв} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i_{зв}^2 dt}, \quad (3.2)$$

а для одержання середнього значення

$$I_{ср} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} i_{зв} dt, \quad (3.3)$$

де T - період напруги живильної мережі.

Напруга, пропорційна величині змінного струму, порівнюється з еталонним значенням. Одержаний сигнал помилки використовують для керування фазообертачем, що встановлює такий кут вмикання контактора, за якого середнє або діюче (в залежності від алгоритму керування, що використовується) значення зварювального струму дорівнює заданому.

Сучасні регулятори забезпечують стабілізацію зварювального струму з похибкою не більше як $\pm 1 \dots 2\%$. Швидкодія схеми складає 1-0,5 періоди напруги живильної мережі. Застосування регуляторів струму дозволяє усунути вплив на

якість зварювання коливань напруги живильної мережі, зміни опору контуру машини внаслідок його нагрівання або внесення феромагнітних мас. В регуляторах струму контактного точкового зварювання використовується принцип керування за відхиленням [24].

3.2.3 Регулятори потужності

Потужність зварювального кола змінюється приблизно пропорційно квадрату вторинної напруги трансформатора, наприклад, якщо напруга машини змінюється в 2 рази, то її потужність змінюється в 4 рази. Максимальні вторинна напруга, зварювальний струм і потужність зварювального кола відповідають мінімальному числу включених витків первинної обмотки.

Вихідна напруга вимірювального вузла регулятора потужності повинна бути пропорційною добутку зварювального струму $I_{зв}$ на спад напруги між електродами $U_{ел}$: $P = I_{зв} \cdot U_{ел}$

В регуляторах енергії пристрій, що множить забезпечує перемноження трьох величин: $I_{зв}$, $U_{ел}$, $t_{зв}$. Подальше використання сигналів, пропорційних потужності або енергії, здійснюється так само, як у регуляторах струму та напруги. Стабілізація потужності або енергії дозволяє усунути вплив багатьох збурень, а також зношування електродів. Конструктивно ці регулятори доцільно будувати на основі мікропроцесорних пристроїв, оскільки необхідно забезпечити перемноження електричних величин із похибкою не більшою 1 % за час $t = 0.01...0.02$ с [24].

3.3 Алгоритм роботи системи керування

Авторегулювання зварних параметрів виконується за допомогою мікропроцесорних технологій, де є можливість обробки інформації від зворотних зв'язків через АЦП, створення регуляторів для подальшого

формування вихідного сигналу для комутації транзисторних чи тиристорних ключів за допомогою ЦАП.

3.3.1 Алгоритм для формування керуючого сигналу

Отримання якісних зварних швів тісно пов'язано із використання джерел живлення, що дозволяють формувати зварні імпульси струму, напруги та потужності спеціальної форми. Важливою задачею при створенні таких джерел живлення є забезпечення необхідних динамічних та енергетичних параметрів формуючих імпульсів, їх малої тривалості, високої продуктивності і можливості регулюванні в реальному масштабі часу. Найбільше розповсюдження отримали джерела живлення із попереднім підігрівом деталей імпульсом струму малої потужності та згладжування переднього фронту імпульсу зварного струму, а також що дозволяє програмувати імпульс зварного струму, якого потужність буде підвищуватися за часом, за квадратичним законом. Проте бажана якість мікрозварних з'єднань таким способом можна отримати не завжди. Тому необхідно враховувати параметри зі зворотних зв'язків для додаткової компенсації енергії що протікає, під час побудови формуючого імпульсу.

Необхідна форма зварного імпульсу може бути вибрана із наступних уподобань. Початкова стадія процесу, коли виконується деформація мікронерівностей в різних точках стискання утворюються мостики. Для усунення перегріву цих мостиків до температури кипіння і вибросу часток із зони контакту необхідно зберегти постійну інтенсивність тепловиділення за одиницю площі істинного контакту:

$$q = \frac{Q}{S_k} = \text{const}, \quad (3.4)$$

де Q - загальна інтенсивність тепловиділення; S_k - площа істинного контакту.

Приведені залежності ширини сторін контактних площадок y та їх площі S_k в межах часу тривалістю t_{Δ} . Зміна ширини сторін контактних площадок на протязі часу нелінійні та можуть бути представлені степеневою функцією. Так

як в процесі зминання мікронерівностей площа контакту S_k збільшується пропорційна другій ширині сторони контактної площадки, а загальна інтенсивність тепловиділення прямо пропорційна потужності зварного струму $P_{зв}$, то умови постійності тепловиділення виконується у випадку, якщо:

$$P_{зв} = kt^n, \quad (3.5)$$

де $n = 2m$; k - коефіцієнт пропорційності.

Нелінійність залежності дає поняття про те, що умови постійності тепловиділення на початковому етапі зварювання можна виконувати підтримуючи показник степені n , що відмінний від 2. Теоретичне визначення необхідної величини n , доволі важке, тому на практиці оптимальним є закон зміни потужності імпульсу зварного струму, що визначається практичним шляхом. Для кожного окремо взятого випадку. Характер зміни потужності при різних показниках степені n має вигляд представлений на (рис 3.3), де t_ϕ - час фронту зварного імпульсу, що визначає необхідну кількість енергії (0.2 ... 0.4 $W_{зв}$); $t_{зв}$ - час зварного імпульсу; t_i - час, що відповідає плоскій ширині зварного імпульсу (ділянка 2).

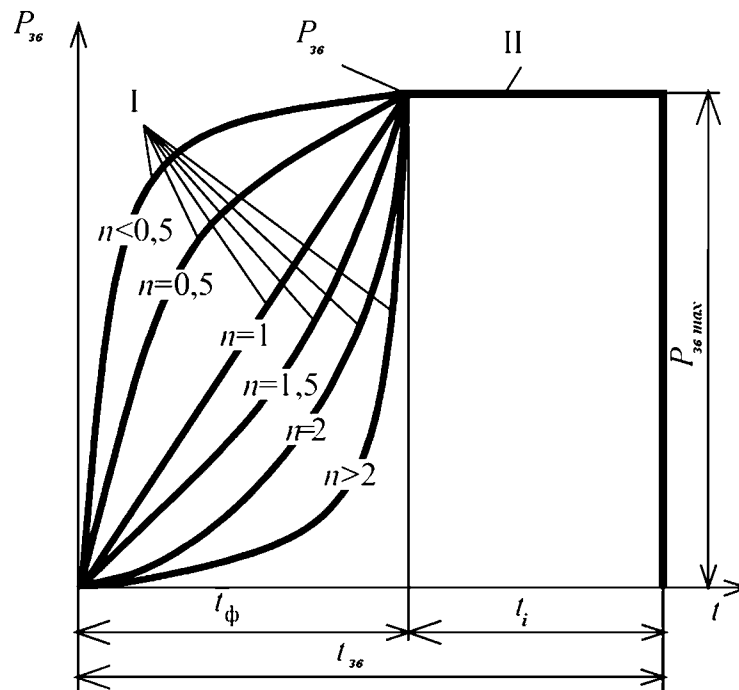


Рис. 3.3 Криві потужності із різним значенням n

Таким чином, на протязі часу, необхідного для стабілізації площі контакту зварювальних деталей, потужність зварного струму необхідно збільшувати поступово пропорційно часу в степені n до виділення потрібної кількості енергії. Для малогабаритних деталей потужність складає 0.2-0.4 від всієї енергії зварювання $W_{зв}$. В подальшому площа зварюваного контакту практично не зміниться, потужність зварного струму $P_{зв}$ необхідно підтримувати на постійному рівні. Закон зміни потужності на цій ділянці може бути записана у вигляді:

$$P_{зв}(t) = \begin{cases} kt^n, 0 \leq t \leq t_{\phi}; \\ P_{зв \max}, t_{\phi} \leq t \leq t_{зв}. \end{cases}, \quad (3.6)$$

Система керування будується на мікроконтролері STM32, що має вбудовані АЦП, та ЦАП, що мають максимальні значення із розрядністю $2^{10} = 4096$. Керування буде регулюватися за допомогою створеного програмного забезпечення.

Принцип роботи джерела живлення виглядає наступним чином. Після установки деталей та стискання електродів джерело живлення запускається і система керування починає формувати еталонний сигнал $A_{em}(t)$, форма якого визначається за формулою

$$A_n(t) = \begin{cases} k_1 t^n, 0 \leq t \leq t_{\phi}, \\ A_{em \max}, t_{\phi} \leq t \leq t_{зв}. \end{cases}, \quad (3.7)$$

де A_{em} - амплітуда еталонного сигналу; k_1 - коефіцієнт пропорційності.

Еталонний сигнал A_{em} подається на один із виходів порту для порівняння. Далі сигнал порівнюється із отриманих даних зворотного зв'язку. Вихідний сигнал буде підсилюватися і передаватися на транзисторний комутатор. На силовому ключі починає протікати зварний струм $I_{зв}$, а на електродах виникає падіння напруги U_e . Величини зварного струму $I_{зв}$ та напруги між електродами U_e перетворюються в датчика струму та напруги в сигнали, що далі передаються

до центрального процесору. Далі формується сигнал, що відповідає моментальному значенню потужності зварного імпульсу:

$$A(t) = \frac{k_2}{t_{36}} \int_0^{t_{36}} U_e(t) \cdot I_{36}(t) dt, \quad (3.8)$$

де k_2 - коефіцієнт пропорційності.

Далі сигнал порівнюється з еталонним та вираховується різниця між еталонним сигналом та реальним сигналом миттєвої потужності зварного імпульсу. Сигнал підсилюється і передається до комутатору.

Алгоритм формування зварного імпульсу наведено на рис. 3.4., Де $A_{ет}$ - еталонне значення потужності; K - коефіцієнт підсилення; A_p - реальне значення потужності вихідного сигналу.

Формування відбувається наступним чином: після запуску системи, відбувається перевірка джерела живлення и створення еталонного значення напруги. Після того, як система готова до запуску процесу зварювання ЦАП формує сигнал із початковим коефіцієнтом підсилення. Якщо значення реального сигналу відповідає еталонному значенню, то зростання коефіцієнту зупиняється до отримання даних зі зворотного зв'язку. Алгоритм дає можливість формування вихідного сигналу із будь-яким законом зміни еталонного сигналу [25].

3.3.2 Алгоритм обробки даних зворотного зв'язку

Отримання даних зі зворотного зв'язку необхідно для компенсації сплесків і різкої зміни потужності безпосередньо на електродах. Обробка інформації відбувається також за допомогою центрального мікропроцесору. Дані отримуються із датчиків напруги та струму, а сигнали необхідно підсилити для коректного зчитування за допомогою мікропроцесору. Максимальне значення напруги, що може бути подана на порти мікропроцесору 5В, тому підсилювачі повинні пропорційно зменшувати або збільшувати напругу зворотного зв'язку для отримання інформаційного сигналу, що отримується на мікроконтролері на

вбудований АЦП. Вбудований АЦП у мікроконтролері 10ти розрядний, тому максимальне значення може бути $2^{10} = 4096$. Коефіцієнт підсилення повинен автоматично налаштовувати значення пропорції, що не повинно буде перевищувати максимальної напруги 5В.

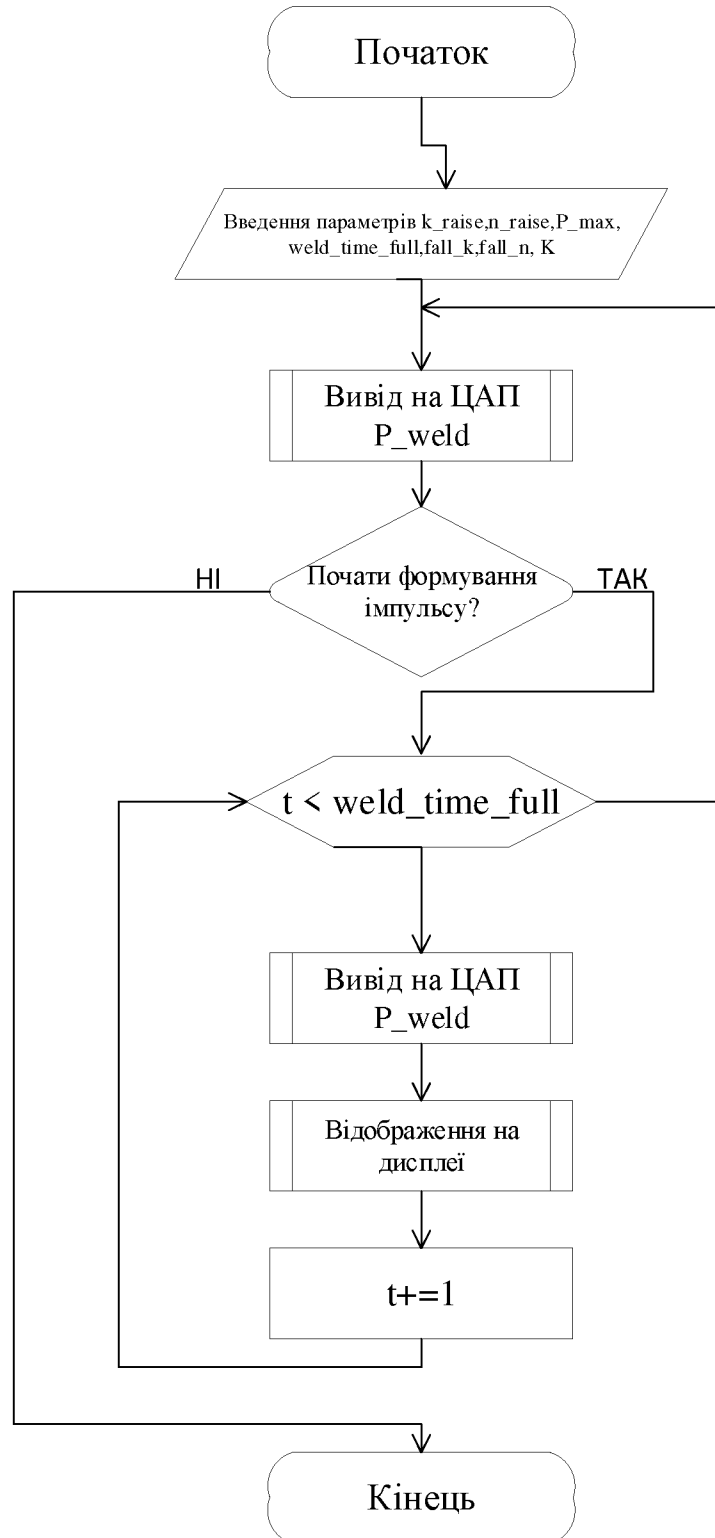


Рис.3.4 Алгоритм формування зварного імпульсу

Алгоритм отримання даних зворотних зв'язків рис. 3.5, де $U_{кзз}$ - корегована напруга зворотного зв'язку із драйвера датчика напруги; $I_{кзз}$ - корегований показник струму із драйвера датчика струму; $U_{зз}$ - отримана напруга зворотного зв'язку із датчика напруги; $U_{ізз}$ - отримана напруга зворотного зв'язку за струмом із датчика струму; K_p - коефіцієнт регулювання.

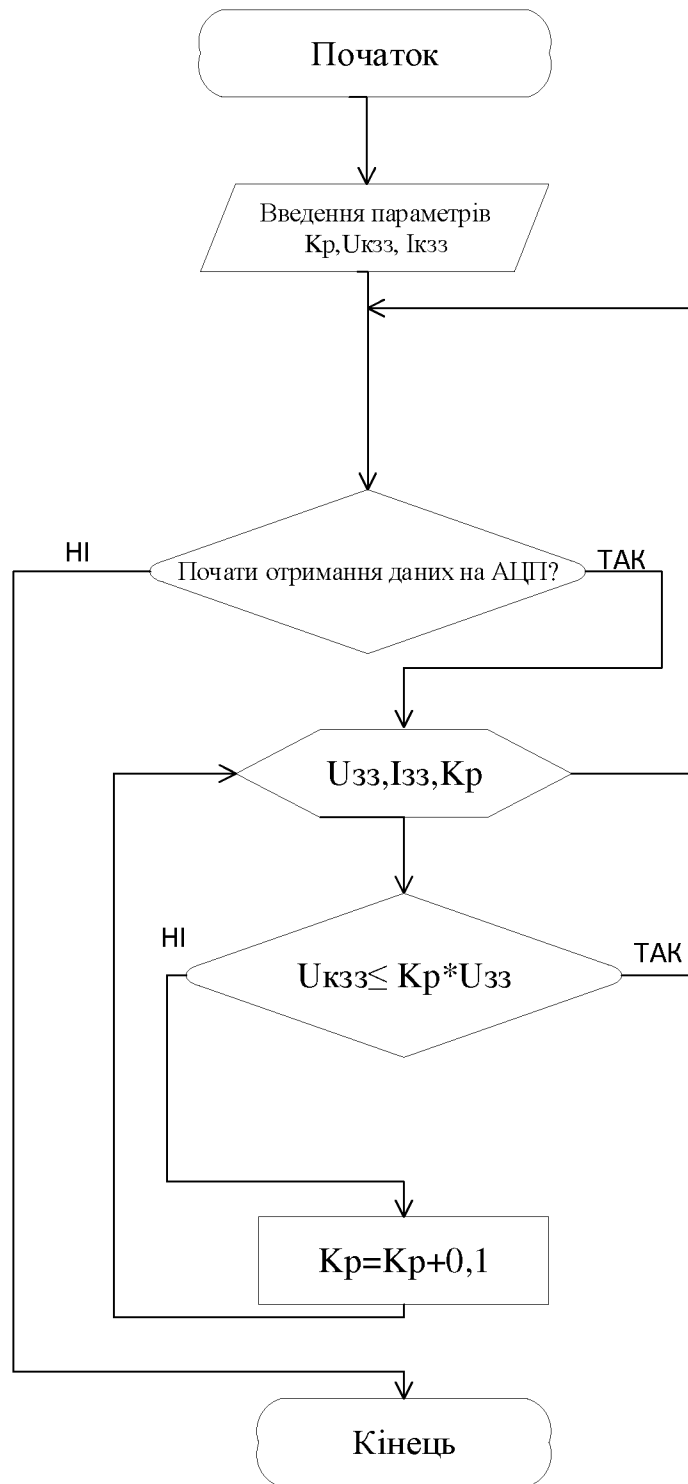


Рис 3.5. Алгоритм отримання даних зворотних зв'язків

Алгоритм полягає у тому, що дані із датчиків необхідно пропорційно налаштувати на можливості мікроконтролеру. Як тільки зчитування з АЦП є можливим, дані будуть передані до центрального мікропроцесору. Драйвери повинні регулювати вхідні параметри зменшуючи або збільшуючи коефіцієнт пропорційності, щоб максимальні значення пропорційно були узгоджені. Далі передається коефіцієнт пропорційності, що свідчить про те, які реальні покази були зняті із датчиків.

3.3.3. Алгоритм отримання даних від оператора

Оператор керуючої установки має можливість задавати свої закони формування сигналу, а також виставляти параметри матеріалів, що будуть зварюватися. Це можливо буде зробити за рахунок панелі керування, що буде надана користувачу у вигляді кнопок та дисплею відображення інформації. Додатково, можна вносити зміну у параметри керування, які можна запрограмувати за допомогою комп'ютера та необхідного програмного забезпечення, шляхом внесення змін у файл вихідного коду. Зміну параметрів можливо робити, коли система не виконує процес зварювання, що необхідно перевіряти. Панель користувача також має екстрену зупинку роботи системи, на випадок, якщо процес зварювання відбувається некоректно та не контролювано.

На рис. 3.6 наведено алгоритм отримання вхідних даних від користувача, де P_z -зварювальна потужність; $K_{мет}$ -коефіцієнт для різних видів металів та сплавів; $d_{мет}$ - товщина матеріалів, що будуть зварюватися.

Інформація про дані відображається користувачеві постійно. Якщо він буде вносити певні зміни, то вони також будуть відображені на дисплеї. Вносити дані можна тільки при зупиненій установці, якщо це необхідно зробити негайно, то кнопкою екстреної зупинки можливо зупинити систему.

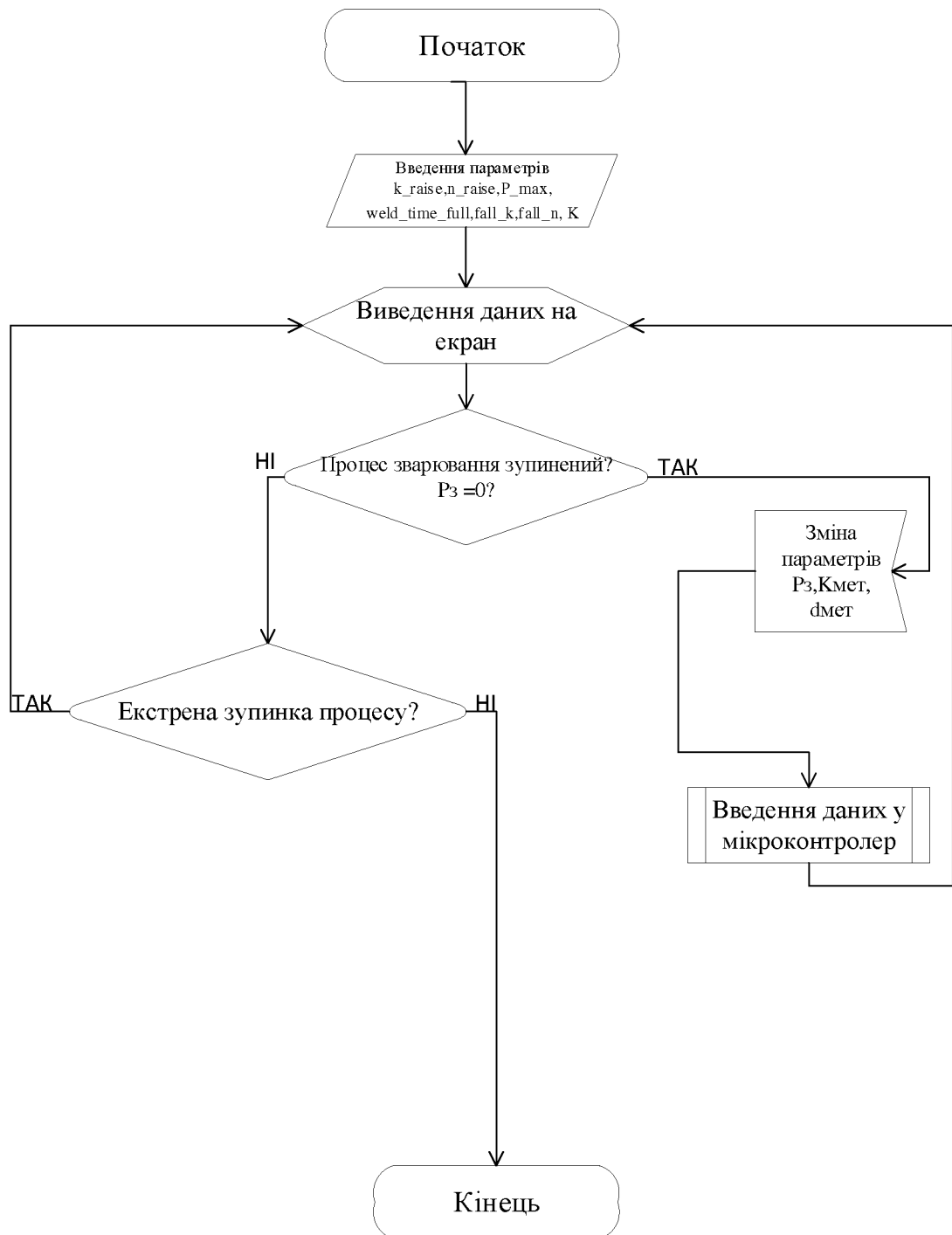


Рис. 3.6 Алгоритм отримання вхідних даних від користувача

3.4 Математичні моделі прогнозування якості зварних швів

При стиковому зварюванні тиском неруйнівний контроль якості зварних з'єднань не завжди дає змогу достовірно виявити дефекти. Враховуючи, що характеристики з'єднань також залежать від параметрів режиму зварювання,

якість останніх часто визначають за наявністю відхилень параметрів зварювання від заданих значень.

Для контактного стикового зварювання безперервним оплавленням за умови використання машин із жорстким електромеханічним приводом оплавлення оцінювання ходу процесу можна проводити за напругою у зварювальному колі. При цьому доведено відповідність між введеними збуреннями та характеристиками зварних з'єднань, що дає можливість застосовувати такі системи для прогнозування можливості появи типових дефектів у стиках. З цією метою розроблено автоматизовані системи аналізу сигналів на базі нейронних мереж.

Експерименти ставили для оптимального режиму та двох випадків відхилення параметрів процесу, які призводять до зниження якісних характеристик стиків: швидкості подавання деталей та напруги неробочого ходу. Параметри режиму для всіх груп стиків визначали, застосовуючи методику [6]. При цьому параметри для режимів зі збуреннями вибирали такими, щоб збурення гарантовано привело до зміни експлуатаційних характеристик стиків. За параметр для формування вибірок для створення і навчання нейронної мережі вибрали дисперсію напруги у зварювальному колі. Показано [6], що характер зміни дисперсії залежить від введеного збурення, а отже, її можна використати як інформативний параметр. Аналіз ходу процесу оплавлення доцільно проводити за високочастотною складовою напруги [26]. При цьому вимірюваний сигнал розглядають як суму періодичної складової промислової частоти (близько 50 Гц) та складових інших частот, виникнення яких пов'язане з особливостями процесу оплавлення. Перед оцінюванням нейронною мережею необхідно провести попередню обробку даних, одним з етапів якої є фільтрація з метою видалення складової промислової частоти. За використання як інформативного параметра дисперсії цей етап може бути опущений, якщо розрахунки проводити для проміжків часу, рівних періодові мережі живлення (0,02 с). Це зумовлено тим, що дисперсія періодичної функції за один її період дорівнює нулю, а дисперсія суми функцій дорівнює сумі їх дисперсій [6]. Крок розрахунків при

цьому становитиме один період мережі живлення (0,02 с). Така тривалість на порядок менша від максимальної допустимої тривалості відхилення процесу від норми без суттєвого його впливу на якість зварного з'єднання. Однак у цьому випадку складову промислової частоти із розрахунків буде виключено не повністю, оскільки у реальних виробничих умовах її частота відрізняється від 50 Гц. Таким чином, підготовку даних до навчання нейронних мереж звели до двох етапів: — обчислення дисперсії за проміжки часу, рівні 0,02 с; нормалізація даних за формулою:

$$b(i) = \frac{a(i) - a_{\min}}{a_{\max} - a_{\min}}, \quad (3.9)$$

де $a(i)$ — вихідне значення сигналу, що підлягає нормалізації; a_{\max}, a_{\min} — відповідно максимальне та мінімальне значення сигналу в масиві даних; $b(i)$ — нормалізоване значення сигналу. У результаті нормалізації для кожного стику отримано інформативний сигнал — вектор довжиною 730 значень із мінімальним значенням 0 і максимальним — 1. Кластеризацію масивів даних проводили за допомогою мережі LVQ. Кількість нейронів першого шару становила 10, другого — 3. Параметрами навчання нейронної мережі LVQ є допустима помилка e та кількість циклів навчання. Використовується навчання нейронних мереж відбувається за алгоритмом зворотного розповсюдження із мінімізацією помилки, тобто $e \rightarrow 0$. Кількість циклів для навчання 1000.

Перевірку якості навчання нейронних мереж визначається за показником ефективності:

$$E = \frac{T_k}{T_n}, \quad (3.10)$$

де T_k -точність при оцінюванні контрольної послідовності.

Для цього після завершення навчання на вхід мережі подаються елементи, на яких проводилось навчання, та визначається кількість правильних відповідей, сформованих мережею. За отриманими даними обчислювали точність оцінювання навчальної послідовності:

$$T_n = \frac{B}{R}, \quad (3.11)$$

де B -кількість правильних відповідей.

Суттєвою перевагою даного способу підготовки даних є зниження кроку розрахунків до одного періоду промислової частоти. Це відкриває можливості для застосування його в автоматизованій системі керування процесом у режимі реального часу, яка за аналізом динаміки зміни інформативного сигналу визначала б наявність відхилень від норми та формувала б коригувальні дії.

4. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Розробка загальної структурної схеми системи керування для контактного зварювання

Для більшої універсальності зварювального приладу в сучасних технологіях використовують програмовані системи керування, а також використовуються трансформатори вироблені за сучасними технологіями, що дає можливість зробити прилад більш зручним у використанні, а також зменшити його габарити та ціну. Структурна схема апарату для контактного зварювання (рис 4.1) є універсальною для більшості апаратів, що виробляється промисловістю. На рис. 4.1. $I_{зв}$ - зварний струм; $I_{ст}$ – струм стиснення електродів; $U_{вих}$ - вихідна напруга зварювальної машини; $I_{звф}$ - фактичний струм зварювання; $U_{кер.зс}$ – напруга керування зварним струмом; $I_{звв}$ - вхідний струм зварювання [10].

Що стосується мікропроцесорної системи керування, то вона може бути реалізована на різних мікроконтролерах, які пропонуються світовими виробниками електричних деталей та компонентів. У даному випадку було обрано плату для відладки STM32F429ZI, розроблена компанією ST.

Зі структурної схеми можна описати принцип дії усієї установки. Перш за все зарядний пристрій передає енергію до накопичувача, який її запасє для подальшої роботи. Як тільки споживач буде готовий до зварювання він подає сигнал з блоку джерела живлення для керуючої системи до блоку виконання математичних операцій, яка формує масив даних, що передаються на цифро-аналоговий перетворювач, що формує вже аналоговий сигнал заданої форми. Цей сигнал відносно малий і для формування більш стабільного і точного сигналу використовується драйвер, що безпосередньо передає вже сигнали до формувача зварювальних імпульсів.

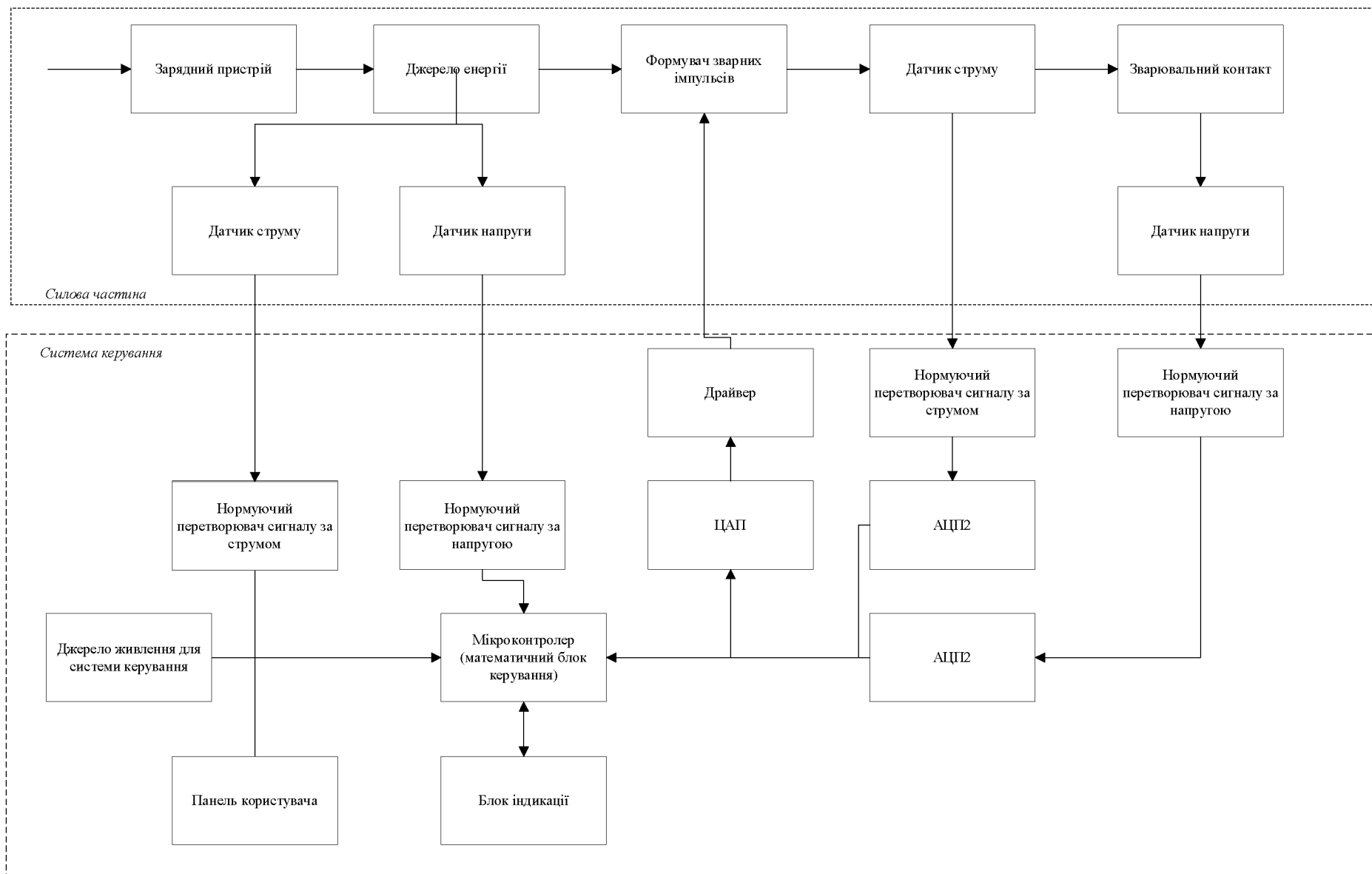


Рис. 4.1. Загальна структурна схема установки контактного зварювання

Сам формувач, на прикладі керованого вентиля вмикається від керуючого імпульсу з драйвера і повторює форму сигналу, параметри якого вже підходять для роботи зі зварювальним апаратом. Тому цей сигнал живить зварювальний контакт, де відбувається безпосередньо процес зварювання.

У системі реалізований зворотній зв'язок за струмом та напругою. Блоки давачів струму та напруги посиляють сигнали до нормуючих приладів, що нормують сигнал для наступного блоку АЦП, який перетворює сигнал у цифровий, щоб отримати реальні дані і порівняти їх з тими що були задані у блоці математичних операцій. Далі отримані дані передаються на блок індикації, який після отримання даних посиляє сигнал на прийняття нових даних, таким чином відбувається динамічна індикація стану системи.

4.2. Розробка схеми електричної структурної системи керування

Уся система керування заснована на роботі мікроконтролера STM32. Даний мікроконтролер має значну кількість переваг над мікроконтролерами інших виробників. STM32 мікроконтролер на основі ARM Cortex-M3 з 32-х бітною архітектурою, що значно пришвидшує швидкість роботи процесора, має широку інтегровану периферію для роботи з різними датчиками і приладами. Основною перевагою такого мікроконтролера є його універсальність. Cortex-M3 став стандартом для більшості виробників мікропроцесорної техніки [24].

Мікроконтролер STM32 має широкий функціонал за рахунок великої вбудованої периферії. Для роботи була використана плата для відладки STM32F429ZI6. Тут вже вбудована необхідна для роботи периферія, а також дисплей для відображення інформації, яка потребує відповідного налаштування для коректної роботи. Програмування відбувається за допомогою програмного забезпечення Keil uVision 5 та Arduino IDE.

Основними параметрами та можливостями даної плати є максимальна частота процесора 180МГц, наявність вбудованих два незалежних каналів АЦП для зчитування різних даних, два незалежних каналів ЦАП для генерації сигналів

різної форми и корегування, 32-х бітна розрядність процесору, що дає можливість роботи с більшим об'ємом даних, наявність Flash-пам'яті для запису отриманих даних, графічний процесор та LCD-дисплей для відображення даних, можливість підключення до інтернету за допомогою допоміжних модулів та інше. Плата STM32F429ZI6 має компактні розміри та необхідні інструменти для налаштування та роботи з нею.

Даний мікропроцесор має не велику потужність, а також не потребує додаткового охолодження. Живлення може відбуватися від USB-microUSB або від постійної напруги в 5В. Тому використання даної плати для відладки є енергетично вигідним. За рахунок вбудованої периферії та окремо вбудованих таймерів більшість задач можливо виконувати не навантажуючи процесор, до того ж майже всі елементи периферії мають дублікати, тому одночасно плата дає можливість виконувати зовсім різні задачі незалежно одна від одної.

Для розробки структурної схеми системи керування необхідно визначити задачі, які дана система повинна буде виконувати. Перш за все, основною задачею системи являється подача керуючих сигналів до перетворювального блоку, який буде в свою чергу запускати роботу. Керуючий імпульс може бути різної величини та різної форми, яку можна буде змінювати, в залежності від потреби. Другою задачею системи постає реєстрація даних с датчиків зварювального апарату, а саме з електричного та механічного датчиків. Дана інформація повинна буде виводитися на екран, де можна буде порівнювати дані що задавалися, та відхилення що були зареєстровані с датчиків, для подальшої більш точної корекції сигналу.

На рис 4.2. наведена структурна схема системи керування, де POWER-джерело DC живлення -5В; ЦАП- цифро-аналоговий перетворювач для генерації зварювального струму необхідних параметрів; STM32- мікроконтролерна система керування; LCD TFT – рідкокристалічний екран для виводу інформації; АЦП1- аналогово-цифровий перетворювач для реєстрації форми зварювального струму; АЦП2-аналогово-цифровий перетворювач для реєстрації вихідної

напруги; НП1-НП2 – нормуючі прилади; ЗВМ – зварювальна машина; Блок керування – панель керування параметрами зварювання.

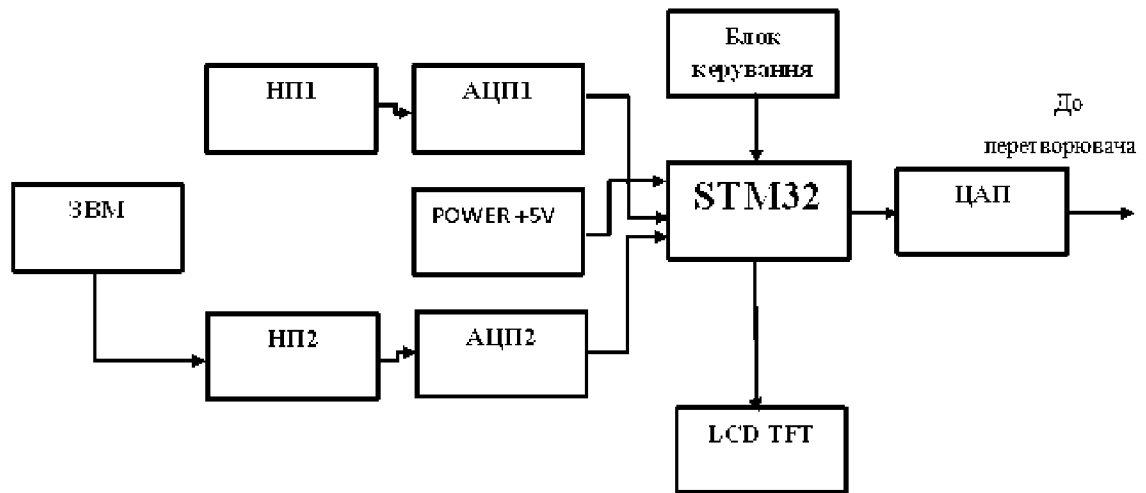


Рис 4.2. Структурна схема системи керування

Зі структурної схеми можна описати принцип роботи та керування імпульсу зварного струму. Для генерації сигналу необхідне використання цифро-аналогового перетворювача (ЦАП). У мікроконтролері STM32 вже є вбудований ЦАП, що забезпечує велику дискретизацію та більш точну форму необхідного імпульсу.

В STM32F429ZI6 вбудований ЦАП має наступні параметри:

- напруга від 1.8V до 3V;
- розрядність 8, 10 або 12 біт;
- 2 незалежних ЦАП;
- ліве або праве вирівнювання бітів;
- робота з зовнішніми тригерами;
- підтримка роботи з прямим доступом до пам'яті.

Налаштування роботи ЦАП відбуватиметься наступним чином. Максимальна напруга ЦАП – 3V, тому знадобиться перетворювальний блок, який підсилить сигнал. Генерація сигналу відбувається за законами, що вказані в таблиці та відтворюється шляхом заповнення бітів логічними «1». Таким чином,

перший сигнал буде 0x00, то останній сигнал буде 0xFF. Працювати система буде з 12-ти бітною розрядністю, що вплине на якість формуючого сигналу. Для задання масиву даних, та отримання реальних значень напруги, що формуватимуться в регістрі ЦАП необхідно використати формулу:

$$DAC_{output} = V_{ref} \times \frac{DOR}{4096}, \quad (4.1)$$

де DAC_{output} - отримана напруга в Вольтах, V_{ref} - еталонна напруга, що дорівнює 3В, DOR - регістр, що формує імпульс у 12-ти бітній розрядності. Значення 4096 – максимальне значення $2^{12} = 4096$ [27].

Для роботи буде використовуватися один канал ЦАП. Вирівнювання бітів встановлюється по правому краю, для зчитування та формування сигналу. Для зчитування кожного елементу масиву і перетворювання його в ЦАП, Після завершення формування однієї сходинки сигналу ЦАП, одночасно, регістр зовнішнього таймера TIM6 заповнюється логічними одиницями, при переповненні змінюється стан прапорцю, що викликає переривання, де зчитується наступний елемент масиву, так забезпечується безперервна робота ЦАП [14].

Під час зварювального процесу система буде реєструвати фактичні дані отримані зі зварювального апарату. Усі дані поступають на аналого-цифровий перетворювач, який передає дані до мікропроцесора. В даному мікропроцесорі АЦП також вбудовано, тому необхідності в додатковому пошуку та підключенні АЦП не має.

В STM32F429ZI6 вбудований АЦП має наступні параметри:

- напруга живлення та зчитування від 1.8 В до 3.6В;
- розрядність 6,8,10 або 12біт;
- 3 незалежних АЦП;
- наявність регулярного і інжектованого каналів;
- декілька режимів одночасної роботи;
- можливість роботи з прямим доступом до пам'яті.

Налаштування АЦП для роботи системи відбуватиметься наступним чином. Робота буде з 12-ти бітним АЦП, так як точність даних буде найвища. Опитування АЦП буде постійним із подальшим записом до регістру. Вирівнювання бітів відбувається по правому краю. Обираємо роботу з регулярним каналом, так як зчитування буде тільки одного роду даних. Для роботи обирається один АЦП і використовується два канали. Наступним кроком є обробка цифрового сигналу, що поступає до пам'яті. За формулою:

$$ADC_{vol} = \frac{ADC_{val} \cdot ADC_{max}}{ADC_{12bit}}, \quad (4.2)$$

де ADC_{vol} - конвертоване значення напруги у вольтах; ADC_{val} - значення отримане з АЦП; ADC_{max} - максимальна значення напруги АЦП; ADC_{12bit} - значення дискретизації АЦП (в нашому випадку АЦП має 12-ти бітну розрядність, що дорівнює $2^{12} = 4096$) [28].

Отримані дані необхідно запам'ятати та вивести на екран аби можна було порівняти з еталонними значеннями, які були задані.

Для запису и зчитування даних використовується прямий доступ до пам'яті, або DMA (Direct Memory Access), з якого легко можна зчитати дані та передати їх з допомогою шини SPI до екрану. Якщо дані різняться, або необхідно виконати корегування форми струму так його величини, то для цього з блоку керування, за допомогою енкодерів є можливість зміни частоти та параметрів форми імпульсу. Корегування імпульсу можна робити до початку роботи. Система також запам'ятовує задані значення тому при повторному включенні налаштування будуть збережені.

Для відображення даних використовується рідкокристалічний екран, який має наступні параметри:

- Роздільна здатність 240x320 пікселів.
- Побудова за допомогою графічного процесору;
- Частота оновлень 60Гц;
- Підтримка 24 біти на піксель або технологія RGB888;

- 32-х бітна архітектура;
- Підтримка горизонтальної та вертикальної синхронізації.

Робота з екраном здійснюється по всій площині, тому ширину 240 пікселів на 320 пікселів встановлюється в налаштуваннях. Використовуватимемо вертикальну синхронізацію для більшої швидкодії процесору. Колір фону білий, що також записується в налаштуваннях. Робота з екраном можлива через шину SPI через яку дані до екрану будуть передаватися з DMA [31].

4.3 Розробка загальної схеми електричної принципової джерела живлення

В якості формувача необхідних параметрів імпульсу буде використовуватися ШИМ контролер, який після стабілізації драйвером подається на зварювальний апарат. До того ж в схему додаються додаткового датчики струму та напруги, для їх обробки в системі керування.

В розробленій схемі були певні недоліки, які були вирішені при модернізації, зокрема датчик струму у вигляді послідовного ввімкненого резистору генерував імпульс малого сигналу, для його підвищення було встановлено неінвертуючий операційний підсилювач. Загальна принципова схема наведена в рис. 4.3.

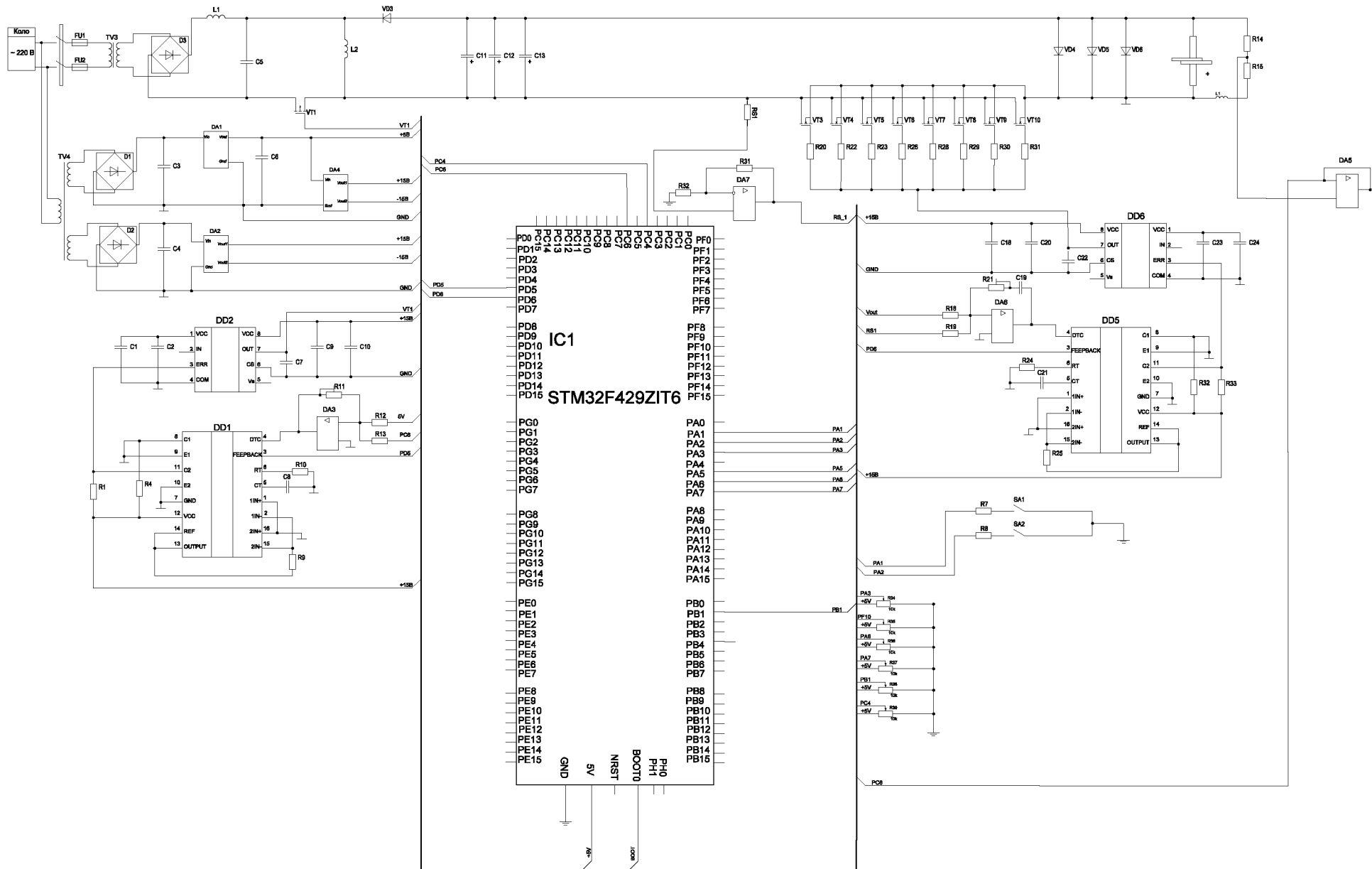


Рис4.3 Принципова схема джерела живлення для контактного зварювання

4.4 Макет практичної роботи

На рис 4.4 та рис 4.5 зображені осцилограми формувача сигналів різної частоти для силової частини системи контактного зварювання.

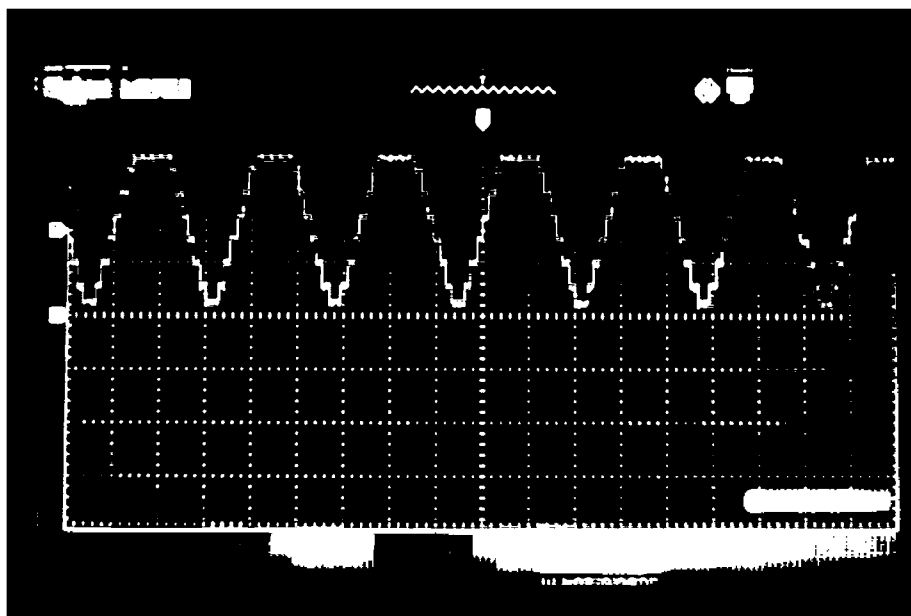


Рис 4.4 Осцилограма генерованої напруги з періодом 5мс трапецеїдальної форми

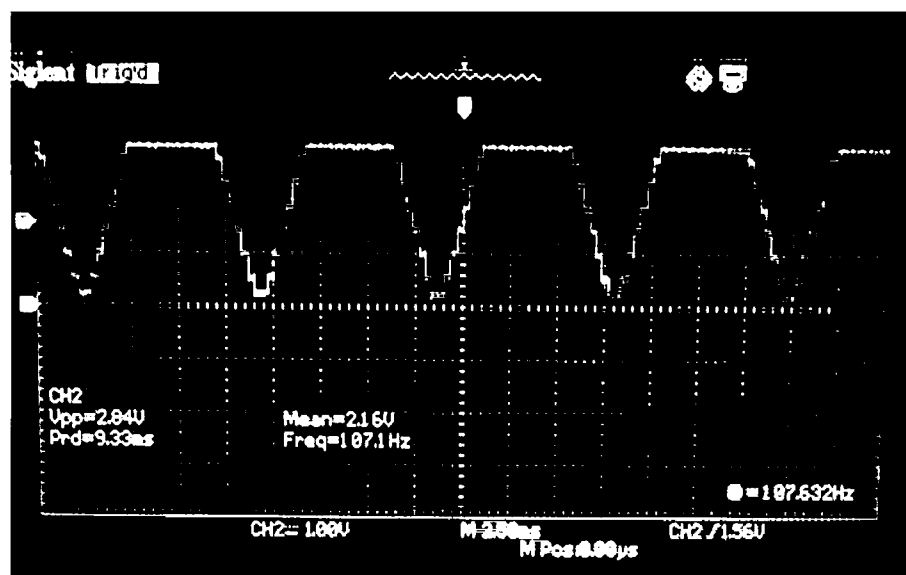


Рис 4.5 Осцилограма генерованої напруги з періодом 2.5мс трапецеїдальної форми

На рис 4.6 та рис 4.7 зображені реальні дані отримані зі зворотного зв'язку системи контактного зварювання.

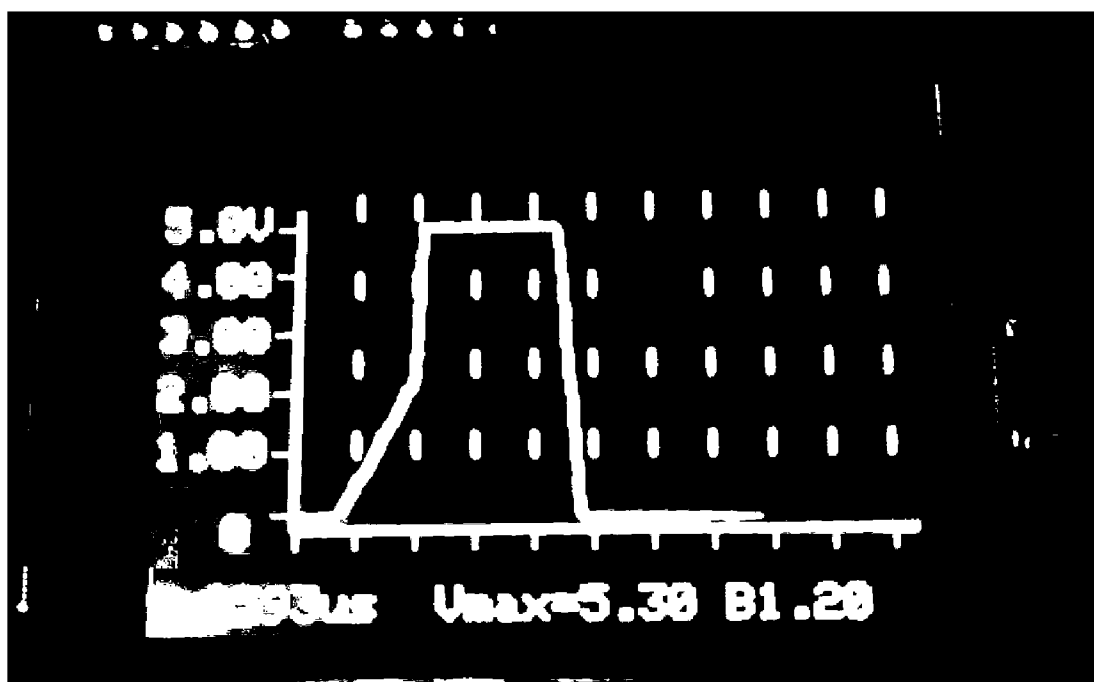


Рис 4.6 Осцилограма напруги зі зворотного зв'язку системи для контактного зварювання з частотою 2.5 мс

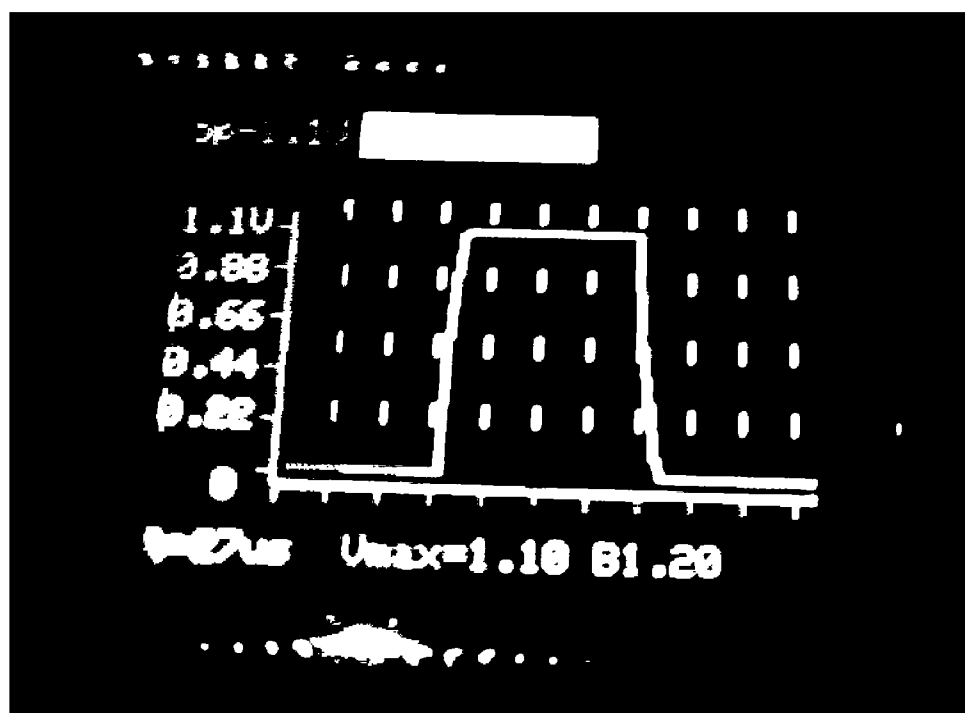


Рис 4.7 Осцилограма напруги зі зворотного зв'язку системи для контактного зварювання 5мс

5. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ

Стартап як форма малого ризикового (венчурного) підприємництва впродовж останнього десятиліття набула широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок (із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн), і вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає.

Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Ідея стартап-проекту, взята окремо, не вартує майже нічого: головним завданням керівника проекту на початковому етапі його існування є перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов.

5.1 Етапи розроблення стартап-проекту

1.Маркетинговий аналіз стартап-проекту

В межах цього етапу:

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;
- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап-проекту

В межах цього етапу:

- складається календарний план-графік реалізації стартап-проекту;
- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;
- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;
- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації проекту.

3. Фінансово-економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

В межах цього етапу:

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово-економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

Цей етап спрямовано на пошук інвесторів та просування інвестиційної пропозиції (оферти). Він передбачає:

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест-пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування оферти.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно – створюють передумови для успішного ринкового старту. [29]

5.2. Опис ідеї проекту

Перед початком розробки проекту стартапу необхідно визначити сферу в якій буде поширений готовий продукт та яку вигоду для користувача він буде нести. В табл. 5.1 наведені основні ідеї стартап-проекту.

Таблиця 5.1.

Опис ідеї стартап - проекту		
<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
<u>Зміст ідеї:</u> Створення системи керування контактним зварюванням з програмованими параметрами для різних топологій джерела живлення	1. Автоматизовані системи керування контактним зварюванням	1. Швидке налаштування зварювальної машини для різних матеріалів
	2. Зварювальні машини для контактного зварювання із вбудованими системами керування	2.Регулювання якості зварного шву за допомогою ПД-регулятора
		3.Відображення реальних показань зі зворотних зв'язків.
		4.Можливість задання свого закону задання сигналу зварювання.
		5.Використання системи керування для зварювальних машин із різними джерелами живлення.
		6.Автоматичне налаштування параметрів під час тривалої роботи.

Для оцінки потенціалу стартап-проекту та його успішності на ринку, необхідно провести аналіз сильних, нейтральних та слабких сторін проекту у порівнянні із конкурентами. Необхідний аналіз характеристик проведено у табл. 5.2.

Таблиця 6.2.

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економіч ні характер истики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторо на)	N (нейтр альна сторон а)	S (сильн а сторо на)
		Мій проект	Конкурен т1	Конкуре нт2	Конку- рент3			
1.	Зміна парамет рів системи автомат ично	Можливі сть зміни матеріалі в зварюван ня	Можливі сть вибору декілько х матеріалі в	Можли вість задання парамет рів вручну	Відсутні сть можливо стей зміни параметр ів			+
2.	Регулюв ання сигналу зварюва ння	Можливі сть встановле ння свого закону зварного сигналу	Можливі сть редагува ння заданого сигналу	Можли вість вибору заданих сигналі в	Можливі сть налашту вання вручну параметр ів			+
3.	Відобра ження даних для користу вача	Присутнє	Присутнє	Присут нє	Присутнє		+	
4.	Можлив ість передба чення якості зварного шву	Присутнє	Присутн я	Не має	Присутн я			+

5.2.1. Технологічний аудит ідеї проекту

Необхідно провести аудит технологічної частини проекту для отримання більш точної оцінки важливості стартап-проекту. Аналіз проведено у табл. 6.3

Таблиця 5.3.

Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Проведення аналізу ринку готових приладів для їх удосконалення	Розробка, дослідження, програмування;	Наявна	Доступна
2	Надання можливості регулювання форми імпульсу зварного шву, та підтримка сигналу на основі зворотних зв'язків	Створення програмного забезпечення для обробки результатів процесу зварювання	Не наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: самостійна розробка на основі дослідження				

Із табл. 5.3 можна зробити висновок, що реалізувати систему керування можна за допомогою існуючих технологій та систем, проте зі іншою частиною необхідні додаткові дослідження та розробка.

5.2.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В табл. 5.4 приведена характеристика потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4.

Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	>100
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2500
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутність масового виробника
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50

На сьогоднішній день, ринок систем керування для машин контактного зварювання активно прогресує. Не існує виробників монополістів, що завоювали увесь ринок. При запуску виробництва рентабельність проекту для даної галузі складатиме 50%.

В табл. 6.5 наведено характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту та загальну цільову аудиторію на яку буде орієнтоване розробка та виробництво стартап-проекту.

Таблиця 5.5.

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
Якість зварного шву; Можливість до швидкої зміни параметрів зварювання; Врахування параметрів під час процесу зварювання.	Металообробна промисловість; Побутова промисловість ; Літакобудування та кораблебудування; Трубопрокат; Ювелірна промисловість.	Експлуатація як у динаміці так і у статичі, в різних, як складних, так і у умовах спокою; Врахування різних параметрів зворотного зв'язку для отримання якісних з'єднань.	- до продукції: Точність; Надійність; Дешевизна; Якість; - до компанії-постачальника: Точність; Брендинг та відомість; Гарантійність;

Цільовою аудиторією для використання системи керування є виробники зварювальних апаратів та машин контактного зварювання. Щоб проект продавався на ринку основним критерієм є: точність та дешевизна. В табл. 5.6 наведені різні фактори загроз, що можуть повпливати на процес реалізації проекту.

Таблиця 5.6.

Фактори загроз			
<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Вартість виробництва	Складність випробовування якості роботи системи. Багато світових аналогів. Необхідний підбір персоналу для створення системи керування.	Запустити виробництво оптом для здешевлення вартості. Найм кваліфікованих працівників.
2	Конкуренція		
3	Можливість програмування та розрахунку системи		

Основною загрозою реалізації стартапу є складність випробовування якості для різних матеріалів, оскільки існує велика кількість сплавів та металів, що використовуються для зварювання, тому необхідно провести якісний аналіз усіх матеріалів, для коректної роботи системи.

В табл. 5.7 наведено фактори можливостей стартап-проекту.

Таблиця 5.7.

Фактори можливостей			
<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Достовірність і надійність	Переваги налаштування системи під різні режими роботи користувачем, та подальше зберігання параметрів.	Зроблений упор на маркетинг та рекламу у цих напрямках для рекомендації себе, як компанії, на ринку;
2	Адаптивність		

Оскільки розроблення стартап-проекту буде використовувати можливості мікроконтролеру прилад буде достатньо точним та швидким у реакції під час

циклу зварювання. Необхідно зробити акцент на рекламі та інформуванні щодо переваг даного стартапу.

В табл. 5.8 наведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку та фактори що можуть по впливати на діяльність підприємства.

Таблиця 5.8.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції: чиста	В кого краще - в того купують	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	Належить до промислового ринку збуту;	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Притаманна різним галузям застосування;	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-родова та товарно-видова	Належить до аналізаторів стану людини	Розширення функціоналу пристрою
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	Покращення цінової політики та якості товару
6. За інтенсивністю: не марочна	Не жорстка конкуренція	Агресивні та не агресивні форми піару

Конкуренція на продаж запропонованого стартапу в Україні не є великою, вартість готового товару можна виставляти більшою за вартість конкурентів, так як запропонований стартап має більшу точність та переваги у налаштуванні.

В табл. 5.9 наведено аналіз стартапу за чотирма основними чинниками: сильною стороною, слабкою стороною, можливостями та загрозами. Такий аналіз називається SWOT-аналіз.

Таблиця 5.9.

SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Можливість задання закону зварювання; Можливість до швидкої зміни параметрів зварювання;	Слабкі сторони: Можливість більш точного оцінення якості зварного шву; Використання параметрів для більшої кількості металів.
Можливості: Зміна параметрів системи ; Надійність та безпечність роботи;	Загрози: Вартість виробництва ; Конкуренція

5.2.3. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

В табл.5.10 наведено визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 5.90.

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	З погляду наявності системи керування імпульсом для контактного зварювання та його стабілізації під час процесу зварювання	Буде шукати нових розширюючі функціонал і потенціал продукту, а також існуючі клієнти у конкурентів самовільно будуть використовувати більш кращий продукт	Буде збільшувати параметрів для врахування процесу зварювання	Помірна, місцями агресивна

Продукт не є новиною на ринку в цілому, проте з точки зору універсальності для використання із машинами контактного зварювання із різними джерелами живлення розробка являє собою повністю унікальний продукт, що може привести увагу існуючих клієнтів, що побажають удосконалити та оновити своє виробництво.

В табл.5.11 наведено ключові переваги концепції потенційного товару.

Таблиця 5.10.

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/ n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Виготовлення більш дешевої системи керування для приладів контактного зварювання	Отримання якісних зварних швів, при різних умовах зварювання	Створення надійного бренду; Постійний розвиток та апгрейд системи та компанії у всіх напрямках; Заняття усіх можливих ніш у галузі електронних систем керування для створення монополії; Дотримуватися схеми ціна – якість;

В табл.5.12 наведено межі встановленої ціни.

Таблиця 5.12.

Визначення меж встановлення ціни

<i>№ n/n</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
	120-140% від ціни нашого продукту	170-180% від ціни нашого продукту	2000000 - 5000000 грн зі 100 проданих од.	2000/4000 у.од.

В табл.5.13 наведено формування системи збуту внаслідок реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.13.

Формування системи збуту				
<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Задоволення потреб, спрощення деяких функцій робітників в галузі кораблебудування, та літакобудування	Збут товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Власна
2		Збут та реклама товару та задоволення запитуваних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

Висновки по розділу

Згідно проведеного аналізу розроблюваний проект має можливість ринкової комерціалізації. Зростання попиту на аналогічні товари додає масовості придбання подібних приладів, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок, де динаміка ринку доволі сприятлива до розроблюваного проекту.

Проект має високі перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, якими виступають промислові , металообробні та літакобудівної промисловості. Бар'єрами входження на ринок можуть бути відсутності масового виробника, сильний конкурентний тиск з боку великих фірм аналогічних продуктів. Але якщо вести агресивну боротьбу в конкурентному середовищі, проект має великі шанси та можливість зарекомендувати бренд, де в подальшому здобудеться місце на ринковій економіці.

Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

ВИСНОВКИ

В дипломному проєкті було спроектовано мікропроцесорну систему керування для зварювального пристрою на основі мікроконтролера STM32F429ZIT6. Актуальністю даної модернізації є можливість корегування форми імпульсу та його основних параметрів користувачем під час роботи приладу за допомогою зовнішніх налаштувань. Перевагою даної розробки є те, що система керування має не велике споживання, та не велику кількість елементів, що зменшує вартість. Система має зворотні зв'язки для регулювання вихідного сигналу, з метою отримання найбільш якісних зварних швів. Обрана система має перспективи для подальшого розвитку систем керування для зварювальних приладів.

У процесі виконання дипломного проєкту було проведено огляд основних проблем зварювання та питань стосовно модернізації та автоматизації системи. Під час розрахунку та налаштування системи було враховано основні проблеми процесу зварювання різних матеріалів за різних умов, тому було обрано більш енергетично вигідну та універсальну форму зварювального імпульсу.

Дана система керування може бути налаштована і з іншим зварювальним приладом, за потреби. Також на основі вже розробленої системи можна додатково додавати параметри, що можна буде змінювати для більш якісного процесу зварювання. Оскільки мікроконтролер має змогу працювати безпосередньо з комп'ютером, то керування зварювальним приладом можна здійснювати за допомогою комп'ютера, а дані також можна буде контролювати за допомогою Інтернет.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Система керування зварювальними напіваавтоматами [Електронний ресурс] - <http://moodle.ipo.kpi.ua/moodle/mod/resource/view.php?id=34303>
2. Контактне зварювання [Електронний ресурс] - https://uk.wikipedia.org/wiki/Контактне_зварювання
3. Стикове зварювання [Електронний ресурс] - https://uk.wikipedia.org/wiki/Стикове_зварювання
4. Контактная электрическая сварка [Електронний ресурс] - <http://weldzone.info/technology/contactwelding/263-resistance-welding>
5. Ткаченко Ю. Лабораторные источники питания//Компоненты и технологии -2004ю -№5 – С1.
6. Кочергин К. А. Контактная сварка.-Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение,1987.- 239 с.
7. Ефимов П.П. Источники питания.-Ульяновск:Ульяновский государственный технический университет,2001.-С 8.
8. Гавриков В. Проектируешь сварочный аппарат? – возьми компоненты International Rectifier. Новости электроники, Смоленск, 2015 [Електронний ресурс] - <https://www.compel.ru/lib/ne/2015/5/5-proektiruesh-svarochnyiyy-apparat-vozmi-komponentyi-international-rectifier>
9. Білобородченко В. Спеціалізовані машини (КМ) для конденсаторного точкового мікрозварювання // Національний університет «Львівська політехніка. Львів. 2006.
10. Коротинский А., Драченко Н., Шапка В. Автоматическая сварка. Особенности применения суперконденсаторов в устройствах для импульсных технологий сварки // Автоматическая сварка– №9., с. 36-40, 2014
11. Атауш В.Е., Леонов В.П., Москвин Е.Г. Микросварка в приборостроении.- Рига:РТУ, 1996.- 331 с.
12. Лебедев В.К., Черниш В.П. Автоматизация сварочных процессов.- Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа»,1986. - 296 с.

13. Бондаренко А. Ф., Сидорец В. Н., Бондаренко Ю. В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ //ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії – 2012. – №3 – С 4.

14. Сущность процессов сварки давлением Электроконтактная сварка [Электронный ресурс] - <http://ifreestore.net/5251/54/>

15. Лебедев В.К., Черниш В.П. Автоматизация сварочных процессов.- Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа»,1986. - 154 с.

16. Атауш В.Е., Леонов В.П., Москвин Е.Г. Микросварка в приборостроении.- Рига:РТУ, 1996.- 95 с.

17. Автоматизация сварочных процессов [Электронный ресурс] - <https://www.autowelding.ru/publ/1/1/1/8-1-0-21>

18. Оценка качества контактной точечной сварки с помощью нейронных сетей [Электронный ресурс] - <http://fccland.ru/svarka/4508-ocenka-kachestva-kontaktnoy-tochechnoy-svarki-s-pomoschyu-neyronnyh-setey.html>

19. Климов А.С. Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества. – Москва: Физматлит, 2016.- 216 с.

20. Чвертко Є.П. Моделювання електричних параметрів процесу контактного стикового зварювання безперервним оплавленням.- Вісник донбаської державної машинобудівної академії. 2011. №1.

21. Скачков І. Автоматизація контактного точкового зварювання [Електронний ресурс] - http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/file.php/166/moodl_akz/r5t3.html

22. Лебедев В.К., Черниш В.П. Автоматизация сварочных процессов.- Киев: Головное издательство издательского объединения «Вища школа»,1986. - 296 с.

23. Скачков І. Автоматизація контактного точкового зварювання [Електронний ресурс] http://moodle.ipk.kpi.ua/moodle/file.php/166/moodl_akz/r5t3.html

24. Паэранд Ю., Бондаренко А. Источник питания для контактной микросварки с программируемой формой сварного импульса. – Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2006, №4.

25. STM32: эпоха 32-битных микроконтроллеров наступила [Электронный ресурс] - <http://www.compel.ru/lib/ne/2011/2/3-stm32-epoha-32-bitnyih-mikrokontrollerov-nastupila>

26. Technical Reference manual RM0900, ST.- Rev 14, 2017.

27. АЦП в STM32 [Электронный ресурс] - <http://easystm32.ru/for-beginners/18-adc-in-stm32-part-1>

28. STM32 → DMA [Электронный ресурс] - http://catethysis.ru/stm32_dma/

29. Опис ідеї проекту (товару, послуги, технології) [Електронний ресурс] <https://infopedia.su/14x1475b.html>

Main.c

```
/* Include core modules */
#include <stdio.h>
#include "main.h"
#include "tm_stm32f4_dac.h"
#include "stm32f4xx.h"
#include "stm32f4xx_rcc.h"
#include "stm32f4xx_gpio.h"

#define CS_ON() GPIO_ResetBits (GPIOE, GPIO_Pin_4)
#define CS_OFF() GPIO_SetBits (GPIOE, GPIO_Pin_4)

__IO uint16_t uhADCxConvertedValue = 0;
__IO uint32_t uwADCxConvertedVoltage = 0;
uint8_t SPI_In[7];
uint8_t SPI_Out[7];

static void ADC_Config(void);

int16_t MAS[21]={0,621,1241,1861,
2482,3102,3723,4095,4095,4095,4095,4095,4095,3723,3102,2482,1861,1241,621,0}
;
unsigned char i=0;

//RX
void DMA2_Stream0_IRQHandler (void)
{
    if (DMA_GetITStatus(DMA2_Stream0,DMA_IT_TCIF0) ==SET)
    {
        DMA_ClearITPendingBit(DMA2_Stream0, DMA_IT_TCIF0);
        CS_OFF();
    }
}

//Tx
void DMA2_Stream3_IRQHandler (void)
{
    if (DMA_GetITStatus(DMA2_Stream3,DMA_IT_TCIF3) ==SET)
```

```

    {
        DMA_ClearITPendingBit(DMA2_Stream3, DMA_IT_TCIF3);
    }
}

```

```

void TIM6_DAC_IRQHandler(void)

```

```

{
    TIM6->SR &= ~TIM_SR_UIF;
    DAC->DHR12R1=MAS[i++];
    if (i==20) i=0;

}

```

```

int main(void) {
    SPI_DMA_ini ();
    DAC_Ini();
    ADC_DMA_INI();
    encoder_ini();
    LCD_ini();
    while (1)
    {
        uwADCxConvertedVoltage = uhADCxConvertedValue *3300/0xFFF;
    }
}

```

DAC.C

```

#include "tm_stm32f4_dac.h"
#include "stm32f4xx_rcc.h"
void DAC_Ini(void) {
    //      /* Set DAC options */

    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_DAC, ENABLE);
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);
    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM6,ENABLE);

    DAC_InitTypeDef DAC_InitStructure;
    DAC_InitStructure.DAC_Trigger = DAC_Trigger_None;
    DAC_InitStructure.DAC_WaveGeneration = DAC_WaveGeneration_None;
    DAC_InitStructure.DAC_OutputBuffer = DAC_OutputBuffer_Enable;
    DAC_Init(DAC_Channel_1, &DAC_InitStructure);
}

```



```

    DAC_Cmd(DAC_Channel_1, ENABLE);
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_4;
    GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AIN;
    GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

```

```

    TIM6->ARR = 60000;
    TIM6->DIER |= TIM_DIER_UIE;
    TIM6->CR1 |= TIM_CR1_CEN;
    NVIC_EnableIRQ(TIM6_DAC_IRQn);
}

```

ADC_DMA.C

```

#include "ADC_DMA.h"
#include "main.h"
void SPI_DMA_ini(void)
{
    DMA_InitTypeDef DMA_Init_SPI;
    RCC_AHB1PeriphClockCmd (RCC_AHB1Periph_DMA2, ENABLE);
    //TX
    DMA_Init_SPI.DMA_Channel =DMA_Channel_3;
    DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralBaseAddr =(uint32_t)&(SPI1->DR);
    DMA_Init_SPI.DMA_Memory0BaseAddr =(uint32_t)SPI_Out;
    DMA_Init_SPI.DMA_DIR =DMA_DIR_MemoryToPeripheral;
    DMA_Init_SPI.DMA_BufferSize =2;
    DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralInc =DMA_PeripheralInc_Disable;
    DMA_Init_SPI.DMA_MemoryInc =DMA_MemoryInc_Enable;
    DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralDataSize =DMA_PeripheralDataSize_Byte;
    DMA_Init_SPI.DMA_MemoryDataSize =DMA_MemoryDataSize_Byte;
    DMA_Init_SPI.DMA_Mode =DMA_Mode_Normal;
    DMA_Init_SPI.DMA_Priority =DMA_Priority_Medium;
    DMA_Init_SPI.DMA_FIFOMode =DMA_FIFOMode_Disable;
    DMA_Init_SPI.DMA_FIFOThreshold =DMA_FIFOThreshold_1QuarterFull;
    DMA_Init_SPI.DMA_MemoryBurst =DMA_MemoryBurst_Single;
    DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralBurst =DMA_PeripheralBurst_Single;
    DMA_Init(DMA2_Stream3,&DMA_Init_SPI);
    NVIC_EnableIRQ (DMA2_Stream3_IRQn);
    DMA_ITConfig (DMA2_Stream3, DMA_IT_TC, ENABLE );
    SPI_I2S_DMACmd(SPI1,SPI_I2S_DMAReq_Tx, ENABLE);

    //RX
    DMA_Init_SPI.DMA_Channel =DMA_Channel_3;
    DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralBaseAddr =(uint32_t)&(SPI1->DR);
    DMA_Init_SPI.DMA_Memory0BaseAddr =(uint32_t)SPI_In;

```

```

DMA_Init_SPI.DMA_DIR =DMA_DIR_PeripheralToMemory;
DMA_Init_SPI.DMA_BufferSize =2;
DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralInc =DMA_PeripheralInc_Disable;
DMA_Init_SPI.DMA_MemoryInc =DMA_MemoryInc_Enable;
DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralDataSize =DMA_PeripheralDataSize_Byte;
DMA_Init_SPI.DMA_MemoryDataSize =DMA_MemoryDataSize_Byte;
DMA_Init_SPI.DMA_Mode =DMA_Mode_Normal;
DMA_Init_SPI.DMA_Priority =DMA_Priority_Medium;
DMA_Init_SPI.DMA_FIFOMode =DMA_FIFOMode_Disable;
DMA_Init_SPI.DMA_FIFOThreshold =DMA_FIFOThreshold_1QuarterFull;
DMA_Init_SPI.DMA_MemoryBurst =DMA_MemoryBurst_Single;
DMA_Init_SPI.DMA_PeripheralBurst =DMA_PeripheralBurst_Single;
DMA_Init(DMA2_Stream0,&DMA_Init_SPI);
NVIC_EnableIRQ (DMA2_Stream0_IRQn);
DMA_ITConfig (DMA2_Stream0, DMA_IT_TC, ENABLE );
SPI_I2S_DMACmd(SPI1,SPI_I2S_DMAREq_Rx, ENABLE);
}

static void ADC_DMA_INI(void)
{

ADC_InitTypeDef    ADC_InitStructure;
ADC_CommonInitTypeDef ADC_CommonInitStructure;
DMA_InitTypeDef    DMA_InitStructure;
GPIO_InitTypeDef   GPIO_InitStructure;

/* Enable ADCx, DMA and GPIO clocks
*****/
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_DMA2, ENABLE);
RCC_APB2PeriphClockCmd (RCC_APB2Periph_ADC3, ENABLE);

/* DMA2 Stream0 channel2 configuration
*****/
DMA_InitStructure.DMA_Channel = DMA_Channel_2;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr = (uint32_t)&(ADC3->DR);
DMA_InitStructure.DMA_Memory0BaseAddr =
(uint32_t)&uhADCxConvertedValue;
DMA_InitStructure.DMA_DIR = DMA_DIR_PeripheralToMemory;
DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 2;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc = DMA_PeripheralInc_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize =
DMA_PeripheralDataSize_HalfWord;

```

```

DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize = DMA_MemoryDataSize_HalfWord;
DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOMode = DMA_FIFOMode_Disable;
DMA_InitStructure.DMA_FIFOThreshold = DMA_FIFOThreshold_HalfFull;
DMA_InitStructure.DMA_MemoryBurst = DMA_MemoryBurst_Single;
DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBurst = DMA_PeripheralBurst_Single;
DMA_Init(DMA2_Stream6, &DMA_InitStructure);
DMA_Cmd(DMA2_Stream6, ENABLE);

/* Configure ADC3 Channel7 pin as analog input
*****/
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin=GPIO_Pin_0;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AN;
GPIO_InitStructure.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_NOPULL ;
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

/* ADC Common Init
*****/
ADC_CommonInitStructure.ADC_Mode = ADC_Mode_Independent;
ADC_CommonInitStructure.ADC_Prescaler = ADC_Prescaler_Div2;
ADC_CommonInitStructure.ADC_DMAAccessMode =
ADC_DMAAccessMode_Disabled;
ADC_CommonInitStructure.ADC_TwoSamplingDelay =
ADC_TwoSamplingDelay_5Cycles;
ADC_CommonInit(&ADC_CommonInitStructure);

/* ADC3 Init
*****/
ADC_InitStructure.ADC_Resolution = ADC_Resolution_12b;
ADC_InitStructure.ADC_ScanConvMode = DISABLE;
ADC_InitStructure.ADC_ContinuousConvMode = ENABLE;
ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConvEdge =
ADC_ExternalTrigConvEdge_None;
ADC_InitStructure.ADC_ExternalTrigConv = ADC_ExternalTrigConv_T1_CC1;
ADC_InitStructure.ADC_DataAlign = ADC_DataAlign_Right;
ADC_InitStructure.ADC_NbrOfConversion = 1;
ADC_Init(ADC3, &ADC_InitStructure);

/* ADC3 regular channel0 configuration
*****/
ADC_RegularChannelConfig(ADC3, ADC_Channel_0, 1,
ADC_SampleTime_3Cycles);

```

```

/* Enable DMA request after last transfer (Single-ADC mode) */
ADC_DMARequestAfterLastTransferCmd(ADC3, ENABLE);

/* Enable ADC3 DMA */
ADC_DMACmd(ADC3, ENABLE);

/* Enable ADC3 */
ADC_Cmd(ADC3, ENABLE);
}

```

Encoder.c

```

#include "encoder.h"

#define Read_Enc_A          GPIO_ReadInputDataBit(GPIOA,
GPIO_Pin_1)
#define Read_Enc_B          GPIO_ReadInputDataBit(GPIOA,
GPIO_Pin_2)
#define ENC_MAX              3
uint8_t Enc_counter=0;
uint8_t Enc_Mode=0;
//-----
void encoder_ini(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_Enc_Ini;

    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOA, ENABLE);

    GPIO_Enc_Ini.GPIO_Pin = GPIO_Pin_11|GPIO_Pin_12;
    GPIO_Enc_Ini.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IN;
    GPIO_Enc_Ini.GPIO_Speed = GPIO_Speed_100MHz;
    GPIO_Enc_Ini.GPIO_OType = GPIO_OType_PP;
    GPIO_Enc_Ini.GPIO_PuPd = GPIO_PuPd_UP;

    GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_Enc_Ini);
}

//-----
uint8_t Enc_A_count=0;
uint8_t Enc_A_state=0;

uint8_t Enc_B_count=0;
uint8_t Enc_B_state=0;

```

```

void SysTick_Enc(void)
{
    if (Read_Enc_A == 1)
    {
        if (Enc_A_count < ENC_MAX)
        {
            Enc_A_count++;
        } else {
            if (Enc_A_state == 0)
            {
                if (Enc_Mode == 0)
                {
                    Enc_Mode = 1;
                    Enc_counter++;
                } else {
                    Enc_Mode = 0;
                    Enc_counter--;
                }
            }
            Enc_A_state = 1;
        }
    } else {
        if (Enc_A_count > 0)
        {
            Enc_A_count--;
        } else {
            if (Enc_A_state == 1)
            {
                if (Enc_Mode == 0)
                {
                    Enc_Mode = 1;
                    Enc_counter++;
                } else {
                    Enc_Mode = 0;
                    Enc_counter--;
                }
            }
            Enc_A_state = 0;
        }
    }
}

if (Read_Enc_B == 1)
{
    if (Enc_B_count < ENC_MAX)

```

```

        {
            Enc_B_count++;
        } else {
            if (Enc_B_state == 0)
            {
                if (Enc_Mode == 0)
                {
                    Enc_Mode = 1;
                    Enc_counter--;
                } else {
                    Enc_Mode = 0;
                    Enc_counter++;
                }
            }
            Enc_B_state = 1;
        }
    } else {
        if (Enc_B_count > 0)
        {
            Enc_B_count--;
        } else {
            if (Enc_B_state == 1)
            {
                if (Enc_Mode == 0)
                {
                    Enc_Mode = 1;
                    Enc_counter--;
                } else {
                    Enc_Mode = 0;
                    Enc_counter++;
                }
            }
            Enc_B_state = 0;
        }
    }
}

//-----
uint8_t getEnc_Counter(void)
{
    return Enc_counter;
}
Timers.c
#include "timers.h"

```

```

//-----
// 1 sec
//-----
void TIM2_IRQHandler(void)
{
    if (TIM_GetITStatus(TIM2, TIM_IT_Update) != RESET)
    {
        TIM_ClearITPendingBit(TIM2, TIM_IT_Update);

        TOGGLE_RED();
    }
}

//-----
//
//-----
void timer_ini(void)
{
    TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_Time_user;

    RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);

    TIM_Time_user.TIM_Prescaler = 20000-1;
    TIM_Time_user.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
    TIM_Time_user.TIM_Period = 1000;
    TIM_Time_user.TIM_ClockDivision = TIM_CKD_DIV1;

    TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_Time_user);

    NVIC_EnableIRQ(TIM2_IRQn);

    TIM_ITConfig(TIM2, TIM_IT_Update, ENABLE);

    TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);
}

```

**Лістинг програми відображення реального сигналу отриманого зі
зворотних зв'язків та налаштування форми імпульсу користувачем.**

```
#include <SPFD5408_Adafruit_GFX.h> // Core graphics library
#include <SPFD5408_Adafruit_TFTLCD.h> // Hardware-specific library
#define LCD_CS A3 // Chip Select goes to Analog 3
#define LCD_CD A2 // Command/Data goes to Analog 2
#define LCD_WR A1 // LCD Write goes to Analog 1
#define LCD_RD A0 // LCD Read goes to Analog 0
#define LCD_RESET A4 //RST pin
#define BLACK 0x0000
#define BLUE 0x001F
#define RED 0xF800
#define GREEN 0x07E0
#define CYAN 0x07FF
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW 0xFFE0
#define WHITE 0xFFFF
Adafruit_TFTLCD tft(LCD_CS, LCD_CD, LCD_WR, LCD_RD, LCD_RESET);
#define levo 12
#define ok 11
#define pravo 10
#define vertikal 2
byte mass[501]; //max array ADC
byte massDEL[501];
byte menu = 1;
byte razv = 0; //значение развертки
float x = 60; // accel X
int Vmax = 0; // U max
```



```

float Vakb = 0; // U ref
unsigned long t = 0; //
unsigned long pause = 0;
int t_del = 0;
bool opornoe = 1;
bool paus = 0; //pause
bool clen_p = 0; //no pause
float t_buf_raise = 0; // buffering time on raising signal
float t_buf_fall = 0; // buffering time on falling signal
float P_weld = 0; // Welding Power
float b_fall = 0; // for building falling signal
float k_raise; // set-up raise signal koef
float n_raise; // set-up raise signal pow
float P_max; // set-up U max < 12V
float weld_time_full; // set-up Welding time
float fall_k; // set-up falling signal koef
float fall_n; // set-up falling signal pow
int button_select= 2;
bool start_weld=false;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    setupSignal();
    setupADC();
}
void loop() {
    Zamer();
    feeedBack();
    if(digitalRead(button_select)==1){
        Welding();
    }
}

```

```

}

void setupADC() {
    Vakb = analogRead(A6) * 5.3 / 1024; //проверка напряжения на АКБ
    if (opornoe == 0) {
        ADMUX = 0b00100101; //выбор внутреннего опорного 1,1В
    }
    if (opornoe == 1) {
        ADMUX = 0b01100101; //Выбор внешнего опорного
    }
    uint16_t identifier = tft.readID();
    tft.begin(identifier);
    delay(50);
    tft.fillScreen(BLACK);
    delay(500);
}

static void setupSignal() {

    float t_buf_raise = 0; // buffering time on raising signal
    float t_buf_fall = 0; // buffering time on falling signal
    float P_weld = 0; // Welding Power
    float b_fall = 0; // for building falling signal
    float k_raise = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 255); // set-up raise signal koef
    max=255
    float n_raise = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 10); // set-up raise signal pow
    max=10
    float P_max = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 12); // set-up U max < 12V
    float weld_time_full = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 2); // set-up Welding time
    max=2secs
    float fall_k = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 255); // set-up falling signal koef
    float fall_n = map(analogRead(A1), 0, 1023, 0, 10); // set-up falling signal pow

```

```

t_buf_raise = pow((P_max * k_raise), (1 / n_raise)); //  $t=(P*k)^{(1/n)}$ 
if (fall_k == 0) {
    b_fall = weld_time_full;
} else {
    b_fall = fall_k * weld_time_full;
}
t_buf_fall = -pow(((P_max - b_fall) / fall_k), (1 / fall_n)); //  $t=-((P-b)/k)^{(1/n)}$ 
}

void Zamer() { //заполнение буфера АЦП
    if (razv >= 6) {
        ADCSRA = 0b11100010; //delitel 4
    }
    if (razv == 5) {
        ADCSRA = 0b11100011; //delitel 8
    }
    if (razv == 4) {
        ADCSRA = 0b11100100; //delitel 16
    }
    if (razv == 3) {
        ADCSRA = 0b11100101; //delitel 32
    }
    if (razv == 2) {
        ADCSRA = 0b11100110; //delitel 64
    }
    if (razv < 2) {
        ADCSRA = 0b11100111; //delitel 128
    }
    if (razv == 0) {
        t = micros();
        for (int i = 0; i < 500; i++) {

```

```

    while ((ADCSRA & 0x10) == 0);
    ADCSRA |= 0x10;
    delayMicroseconds(100);
    mass[i] = ADCH;
}
t = micros() - t;
t_del = t * 25 / 501;
}
if (razv > 0) {
    t = micros();
    for (int i = 0; i < 500; i++) {
        while ((ADCSRA & 0x10) == 0);
        ADCSRA |= 0x10;
        mass[i] = ADCH;
    }
    t = micros() - t;
    t_del = t * 25 / 501;
}

}

void MenuT() { //bottom menu
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(0, 20, 20, 320, BLACK); //clearing
    tft.setRotation(1);
    tft.setCursor(0, 220);
    tft.print("t=");
    if (razv < 7) {
        tft.print(t_del);
    }
    if (razv == 7) {

```

```

    tft.print(t_del / 2);
}
if (razv == 8) {
    tft.print(t_del / 3);
}
if (razv == 9) {
    tft.print(t_del / 4);
}
if (razv == 10) {
    tft.print(t_del / 5);
}
tft.print("us ");
tft.print("Vmax=");
if (opornoe == 0) {
    tft.print(Vmax * 1.1 / 255);
}
if (opornoe == 1) {
    tft.print(Vmax * 5.3 / 255);
}
tft.print(" ");
tft.print("B");
tft.print(Vakb);
}
void feedBack() {
    if (menu == 0) {
        tft.setRotation(1);
        tft.setTextColor(RED);
        tft.setTextSize(2);
        tft.fillRect(0, 0, 85, 25, CYAN);
        tft.setCursor(0, 5);
    }
}

```

```

if (opornoe == 0) {
    tft.print("op-1.1V ");
}
if (opornoe == 1) {
    tft.print("op-5.3V ");
}
if (digitalRead(pravo) == HIGH) {
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(65, 0, 120, 50, BLACK); //стирание напряжения
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стирание поля графика
    opornoe = !opornoe;
}
if (digitalRead(levo) == HIGH) {
    tft.setRotation(0);
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стирание поля графика
    tft.fillRect(65, 0, 120, 50, BLACK); //стирание напряжения
    opornoe = !opornoe;
}
tft.setRotation(1);
tft.print("Razv*");
tft.print(razv);
tft.print("  PauseOFF");
}
if (menu == 1) {
    tft.setRotation(1);
    tft.setTextColor(RED);
    tft.setTextSize(2);
    tft.fillRect(90, 0, 120, 25, CYAN);
    tft.setCursor(0, 5);

```

```

if (opornoe == 0) {
    tft.print("op-1.1V ");
}
if (opornoe == 1) {
    tft.print("op-5.3V ");
}
if (digitalRead(pravo) == HIGH) { //доработать скорость
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стирание поля графика
    razv++;
    if (razv == 11) {
        razv = 10;
    }
}
if (digitalRead(levo) == HIGH) { //доработать скорость
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стирание поля графика
    razv--;
    if (razv == 255) {
        razv = 0;
    }
}
tft.setRotation(1);
tft.print("Razv*");
tft.print(razv);
tft.print("  PauseOFF");
}
if (menu == 2) { //пауза
    paus = 1;
    if (clen_p == 0) {

```

```

clen_p = 1;
tft.setRotation(1);
tft.setTextColor(RED);
tft.setTextSize(2);
tft.fillRect(210, 0, 100, 25, CYAN);
tft.setCursor(0, 5);
if (opornoe == 0) {
    tft.print("op-1.1V ");
}
if (opornoe == 1) {
    tft.print("op-5.3V ");
}
tft.print("Razv*");
tft.print(razv);
if (paus == 0) {
    tft.print("  PauseOFF");
}
if (paus == 1) {
    tft.print("  PauseON");
}
}
}
if (digitalRead(ok) == HIGH) {
    menu++;
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стиране поля графика
    if (menu == 3) {
        menu = 0;
        paus = 0;
        clen_p = 0;
    }
}

```



```

    }
    tft.setRotation(1);
    tft.fillRect(0, 0, 320, 25, BLACK);
}
if (опорное == 0) {
    ADMUX = 0b00100101; //выбор внутреннего опорного 1,1В
}
if (опорное == 1) {
    ADMUX = 0b01100101; //Выбор внешнего опорного
}
delay(5);

//Выбор опорного#####

tft.setRotation(0);

//ось напряжения#####

tft.drawFastHLine(44, 60, 140, BLUE); tft.drawFastHLine(44, 59, 140, BLUE);
tft.drawFastHLine(44, 58, 140, BLUE);

tft.drawFastVLine(50, 50, 10, BLUE); tft.drawFastVLine(76, 50, 10, BLUE);
tft.drawFastVLine(102, 50, 10, BLUE);

tft.drawFastVLine(128, 50, 10, BLUE); tft.drawFastVLine(154, 50, 10, BLUE);
tft.drawFastVLine(175, 50, 10, BLUE);

//ось времени#####

tft.drawFastVLine(44, 60, 270, RED); tft.drawFastVLine(43, 60, 270, RED);
tft.drawFastVLine(42, 60, 270, RED);

tft.drawFastHLine(35, 60, 10, RED); tft.drawFastHLine(35, 85, 10, RED);
tft.drawFastHLine(35, 110, 10, RED); tft.drawFastHLine(35, 135, 10, RED);

tft.drawFastHLine(35, 160, 10, RED); tft.drawFastHLine(35, 185, 10, RED);
tft.drawFastHLine(35, 210, 10, RED); tft.drawFastHLine(35, 235, 10, RED);

tft.drawFastHLine(35, 260, 10, RED); tft.drawFastHLine(35, 285, 10, RED);
tft.drawFastHLine(35, 310, 10, RED);

//ось времени#####

//сетка вертикальная #####

```

```

tft.drawFastHLine(75, 310, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 310, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 310, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 310, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 285, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 285, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 285, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 285, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 260, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 260, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 260, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 260, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 235, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 235, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 235, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 235, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 210, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 210, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 210, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 210, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 185, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 185, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 185, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 185, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 160, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 160, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 160, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 160, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 135, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 135, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 135, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 135, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 110, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 110, 5
* vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 110, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 110, 5 * vertikal, YELLOW);

tft.drawFastHLine(75, 85, 5 * vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(110, 85, 5 *
vertikal, YELLOW); tft.drawFastHLine(145, 85, 5 * vertikal, YELLOW);
tft.drawFastHLine(180, 85, 5 * vertikal, YELLOW);

//сетка вертикальная #####

tft.setRotation(1);

tft.setTextColor(RED);

tft.setTextSize(2);

//шкала напряжения#####

if (opornoe == 0) {

```

```

tft.setCursor(30, 190); tft.println("0");
tft.setCursor(0, 155); tft.println("0.22");
tft.setCursor(0, 130); tft.println("0.44");
tft.setCursor(0, 105); tft.println("0.66");
tft.setCursor(0, 80); tft.println("0.88");
tft.setCursor(0, 55); tft.println("1.1V");
}

if (opornoe == 1) {
    tft.setCursor(30, 190); tft.println("0");
    tft.setCursor(0, 155); tft.println("1.00");
    tft.setCursor(0, 130); tft.println("2.00");
    tft.setCursor(0, 105); tft.println("3.00");
    tft.setCursor(0, 80); tft.println("4.00");
    tft.setCursor(0, 55); tft.println("5.0V");
}

if (paus == 0) {
    MenuT();
}

Vmax = 0;
for (int i = 0; i < 500; i++) {
    if (Vmax < mass[i]) {
        Vmax = mass[i];
    }
}

if (paus == 0) {
    tft.setRotation(0);
    //tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стиране графика
    x = 60;
    for (int y = 0; y < 260; y++) {

```

```

tft.setRotation(1);
if (razv < 7) {
    x++;
}
if (razv == 7) {
    x = x + 2;
}
if (razv == 8) {
    x = x + 3;
}
if (razv == 9) {
    x = x + 4;
}
if (razv == 10) {
    x = x + 5;
}

tft.drawLine(x + 1, 190 - massDEL[y] / 2 + 1, x + 2, 190 - massDEL[y + 1] / 2 +
1, BLACK); //стираем график

tft.drawLine(x, 190 - massDEL[y] / 2, x + 1, 190 - massDEL[y + 1] / 2, BLACK);
//стираем график

tft.drawLine(x + 1, 190 - mass[y] / 2 + 1, x + 2, 190 - mass[y + 1] / 2 + 1,
GREEN); //график

tft.drawLine(x, 190 - mass[y] / 2, x + 1, 190 - mass[y + 1] / 2, GREEN); //график

}

for (int i = 0; i < 500; i++) {
    massDEL[i] = mass[i];
}
}

if (paus == 1) { //режим паузы
    //tft.setRotation(0);

```

```

//tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK);//стиране графика
if (digitalRead(pravo) == HIGH) {
    tft.setRotation(0);
    tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK);//стиране графика
    x = 60;
    for (int y = 0; y < 260; y++) {
        tft.setRotation(1);
        if (razv < 7) {
            x++;
        }
        if (razv == 7) {
            x = x + 2;
        }
        if (razv == 8) {
            x = x + 3;
        }
        if (razv == 9) {
            x = x + 4;
        }
        if (razv == 10) {
            x = x + 5;
        }
        tft.drawLine(x + 1, 190 - mass[y] / 2 + 1, x + 2, 190 - mass[y + 1] / 2 + 1,
GREEN); //график
        tft.drawLine(x, 190 - mass[y] / 2, x + 1, 190 - mass[y + 1] / 2, GREEN);
//график
    }
    MenuT();
}
if (digitalRead(levo) == HIGH) {

```

```

tft.setRotation(0);
tft.fillRect(45, 60, 140, 260, BLACK); //стиране графика
x = 60;
for (int y = 0; y < 260; y++) {
    tft.setRotation(1);
    if (razv < 7) {
        x++;
    }
    if (razv == 7) {
        x = x + 2;
    }
    if (razv == 8) {
        x = x + 3;
    }
    if (razv == 9) {
        x = x + 4;
    }
    if (razv == 10) {
        x = x + 5;
    }
    tft.drawLine(x + 1, 190 - mass[y] / 2 + 1, x + 2, 190 - mass[y + 1] / 2 + 1,
GREEN); //график
    tft.drawLine(x, 190 - mass[y] / 2, x + 1, 190 - mass[y + 1] / 2, GREEN);
//график
}
MenuT();
}
}
}

```

```

void Welding(){
    for (float t = 0; t < weld_time_full; t += 0.01) { //build a signal
        if (P_weld < P_max) {
            P_weld = k_raise * pow(t, n_raise); //P=k*(t^n) part1
        }
        else if (P_weld > P_max) {
            P_weld = P_max;          //P=Pmax part2
        }
        else if (t > (t - t_buf_fall)) {
            P_weld = b_fall - fall_k * pow(t, fall_n); // P=b-k*(t^n)
        }
        else if (P_weld < 0.1) {      //P never been 0
            P_weld = 0;
            // stop_weld();
        }
        // graph_show(P_weld);        //showing graphics
    }
}

```

ABSTRACT

Urgency of work. Power sources are used in various industries, but the devices have limited ability to adjust the output parameters, in particular, to adjust the shape of the pulse output signal. Power supplies for production are of high value and are made to order. In case of changing the conditions of production, it is necessary to adjust the parameters of the power supply.

There are industries where setting up power supplies for different job options is a must. An industry like contact welding requires a constant change in the output signal and the more options it is possible to adjust, the better the welds will be. The control system must provide a stable shape of the output signal pulse, regardless of the factors that influence the welding process. The control system based on the microcontroller significantly extends the pulse setting parameters and also reduces the cost of the power supply.

The purpose and tasks of the study. The purpose of the dissertation is to create a control system for a power supply source with the ability to adjust the output parameters, in particular, adjust the output pulse parameters and support it through regulators and feedback.

The purpose and tasks of the research.:

- 1) Search and analysis of existing solutions for the construction of automated control systems.
- 2) Creation of an algorithm, software and an electrical circuit for the construction of an own power supply control system for contact welding.

The object of study. Control and regulation processes in the equipment for contact welding.

Subject of research. Power supply control system for contact welding.

Research methods. When solving the tasks put into operation for the implementation of the control system for contact welding, an analysis of the factors influencing the welding process and the search for methods of automation of the contact welding process was carried out. The implementation of the work is based on

the microcontroller STM32F429ZIT6 in the uVision software environment, Arduino IDE.

The scientific novelty of the research is as follows:

- 1) The algorithm of operation of the control system with the ability to adjust the output signal and its adjustment during the process of contact welding is developed.
- 2) Improved electrical circuitry of the control system with the ability to adjust the output parameters and obtain data from feedback.

The practical value of the results obtained:

- 1) It is possible to configure the parameters using the user interface.
- 2) The control system is implemented on a real microcontroller with the possible further use in the devices of the control system of power supplies for contact welding.

Approval of the results of work. The results of the work were presented at the conference of the first international scientific and technical conference "SMART-TECHNOLOGIES IN POWER AND ELECTRONICS -2018".

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, five sections, conclusions, list of used sources from 29 titles. The total volume of the dissertation is 97 pages including 86 pages of the main text, 28 figures and 14 tables.